

# VESIHALLITUKSEN MONISTESARJA

1982:128

MALLITUTKIMUS PYÖRRESELKEYTTI-  
MEN SOVELTUVUUDESTA KALANVILJE-  
LYN POISTOVESIEN KÄSITTELYYN

Timo Mäkinen  
Martti Naukkarinen



V E S I H A L L I T U K S E N   M O N I S T E S A R J A



1982:128

MALLITUTKIMUS PYÖRRESELKEYTTI-  
MEN SOVELTUVUUDESTA KALANVILJE-  
LYN POISTOVESIEN KÄSITTELYYN

Timo Mäkinen  
Martti Naukkarinen

Tutkimus suoritettiin Laukaan keskus-  
kalanviljelylaitoksella Riista- ja Kala-  
talouden tutkimuslaitoksen sekä vesihalli-  
tuksen yhteistyönä.

Vesihallitus  
Vesistöosasto  
Helsinki 1982



## SISÄLLYS

	sivu
JOHDANTO	1
1. Perustietoja kuormituksesta	2
1.1 Ravinnekuormitus	2
1.2 Jätteen ominaisuuksista	3
1.3 Kuormitusyksiköt	3
 2. KUORMITUKSEN VÄHENTÄMINEN	 7
2.1 Yleistä	7
2.2 Kiinteän jätteen kerääminen	7
2.21 Tuore kala-allasliete	7
2.22 Altaiden pesuvesien käsittely	8
2.3 Liuenneiden ravinteiden talteenotto	9
 3. PYÖRRESELKEYTIN	 12
3.1 Toimintaperiaate	12
3.2 Mitoitustarkastelu	12
3.21 Mallikokeen mittakaavamuunnokset	12
3.22 Laskeutuminen	13
3.23 Pyörrevirtaus	18
 4. MALLIKOE	 20
4.1 Koejärjestelyt	20
4.2 Kasvatustoiminta lohihallissa koeaikana	20
4.3 Kasvatusveden ominaisuudet	23
4.4 Tutkimusmenetelmät	24
a) näytteenotto	
b) analysointi	
4.5 Tulokset	26
4.51 Yleistä	26
4.52 Pieni selkeytin	28
4.53 Suuri selkeytin	28
4.6 Johtopäätökset	29
4.61 Soveltuvuus	29
4.62 Rakenne ja mitoitus	30
4.63 Muut huomioonotettavat tekijät	34
4.64 Vaihtoehtoiset ratkaisut	35
 5. Kustannukset	 36
 6. Suositukset ja jatkotutkimustarve	 37
 YHTEENVETO	 38
SUMMARY	39
KIRJALLISUUTTA	40
LIITTEET	42



## J O H D A N T O

Keväällä 1981 todettiin Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen ja vesihallituksen välisissä neuvotteluissa tarve kalanviljelyn vesistövaikutusten vähentämiseen tähtäävän tutkimuksen käynnistämiseen. Vesihallitus tekikin keskustelujen pohjalta aloitteen 2.6.1981 päivätyllä kirjeellään tutkimuksesta, joka selvittäisi pyörreselkeyttimen käyttöä kalanviljelyvesien puhdistuksessa.

Tutkimuslaitos hyväksyi aloitteen ja em. tutkimus suoritettiin Laukaan kalanviljelylaitoksella vuonna 1981 Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen ja vesihallituksen yhteistyönä.

Käsillä olevaan raporttiin on koottu keskeiset tulokset sekä suosituksia jatkotutkimustarpeesta. Mainittakoon tässä yhteydessä että tutkimusta on myöhemmin jatkettu selkeyttimen ominaisuuksien parantamiseksi ja kertyvän lietteen jatkokäsittelyn ja hyödyntämisen ratkaisemiseksi.

Tutkimuksen tekemisestä Laukaan Keskuskalanviljelylaitoksella ja tutkimusraportin kokoamisesta vastasivat DI Martti Naukkarinen vesihallituksen suunnittelu-toimistosta ja Fk Timo Mäkinen Riista- ja kalatalouden tutkimustoimiston Laukaan keskuskalanviljelylaitokselta.

Tutkimuksen tuloksia on jo alustavasti julkaistu aikaisemmin Suomen Kalankasvattaja -lehdessä (nro 4, 1981).

# 1. Perustietoja kuormituksesta

## 1.1 Ravinnekuormitus

Kalanviljelyn aiheuttama vesistökuormitus joutuu vastaanottavaan vesistöön kuormituksen vähentämistä ajatellen kahdella toisistaan eroavalla tavalla:

-Altaisiin laskeutuneesta lietteestä liukenee ravinteita nopeasti veteen, (kuva 1. Kivinen 1980), jolloin ne joutuvat alapuoliseen vesistöön poistoveden mukana. Osa pohjalle laskeutuneista ulostepartikkeleista kevenee lietteessä tapahtuvien ilmiöiden seurauksena ja lähtee helposti liikkeelle altaan virtausten mukana. Nämä partikkelit voivat joko laskeutua uudelleen altaaseen sellaisissa kohdissa, missä se virtausnopeuden hiljentyessä on mahdollista, tai ne voivat poistua virtauksen mukana altaasta.

-Altaan puhdistuksen yhteydessä syntyy kuormitushuippu, jos altaasta pestävä liete pääsee vesistöön.

Suurin osa ravinnekuormituksesta syntyy ensiksi kerrotulla tavalla. Esimerkiksi Brisbinin (1970) tulosten perusteella voidaan laskea, että pesuvedet sisältävät 20-25 % laitoksen koko kiintoaine- ja BHK- kuormituksesta.

Suurimmat pitoisuudet esiintyvät kuitenkin juuri puhdistuksen yhteydessä.

Velvoitetarkkailutulosten perusteella on arvioitu yhden kuivarehukilon tuottavan vesistöön keskimäärin 6 gramman fosfori ja 30 gramman typpikuormituksen (vesihaltisuuden valvontaohje 1253/500, 1980). Keski-Suomen vesipiirin tekemän selvityksen mukaan olivat Keski-Suomen vastaavat kuormitusarvot 1975-1980 6.1 g fosforia ja 34 g typpeä (Keski-Suomen vesipiiri 1981). Myllymaan (1981) mukaan voidaan laskea vastaavat kuormitusarvot taulukon 6 (s. 16...20) avulla: fosforia 7.2 ja typpeä 33 g rehukiloa kohti. Nämä arvot on laskettu ainoastaan kuivarehua käyttäviltä laitoksilta, eikä näillä laitoksilla yleensä ole toteutettu lietteenpoistoa siten, että se näkyisi kuormitusarvoissa.

Laukaan keskuskalanviljelylaitoksella on havaittu Nevan kantaa olevan merilohen toisen kesän kasvatuksessa neljän neliömetrin muovialtaissa syntyvän fosforikuormituksia, jotka vaihtelivat 6.0 - 11.0 g käytettyä rehukiloa kohti (Sumari et al. 1982).



## 1.2 Jätteen ominaisuuksista

Ilmeisesti lähes kaikki kuormitusta aiheuttava aine on tuoreena kiinteässä muodossa ja on siten laskeutettavissa. Ravinteiden muuttuminen liukoiseen muotoon on nopeata (kuva 1). Lohikalojen hajoamattomat ulosteet laskeutuvat nopeasti ja muodostavat altaan pohjalle lietteen, mikäli virtausnopeus altaassa on riittävän hiljainen (kuva 2, Warrer-Hansen 1979).

Kala-altaiden pesulietteiden ominaisuuksia on tutkittu mm. Oulun vesipiirin toimesta Pohjois-Suomen keskuskalanviljelylaitoksella Taivalkoskella.

Tutkimusten mukaan suurin osa lietteestä laskeutui nopeasti (kuva 3, Selänne & Ollikainen 1979).

Kun maa-altaiden lietteet kerätään tavallisesti korkeintaan kaksi kertaa vuodessa, on lietteen sisältämä fosfori ehtinyt jo suurimmaksi osaksi liueta.

Jäljellä on vain lietteeseen "tiukimmin sitoutunut osa" eli noin 4 mg/g-kuiva-ainetta (kts. kuva 1.). Koska ravinteiden liukeneminen on nopeaa, seuraa kuormituksen vaihtelu ruokinnan voimakkuuden vaihtelua lähes viivytyksettä, esim. talvella kuormitusta ei juuri synny. Kuormituksen suuruus ja kuormitushuippu voidaan näin arvioida ruokintatietojen perusteella (kuva 4).

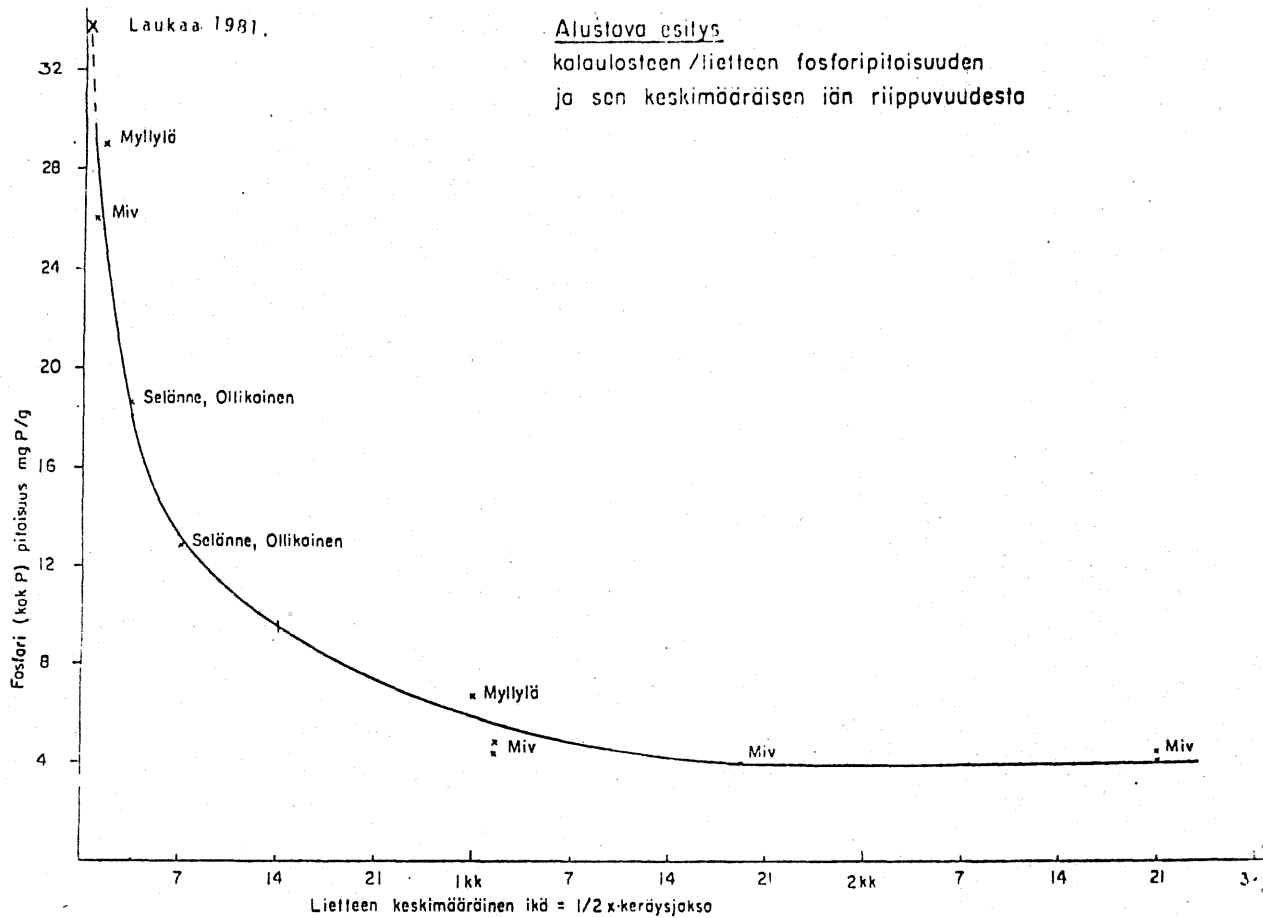
## 1.3 Kuormitusyksiköt

Kirjallisuudessa käytetään useita erilaisia yksiköitä kalalaitoksen vesistökuormituksen ilmaisemiseen. Esimerkiksi fosforin osalta on käytetty

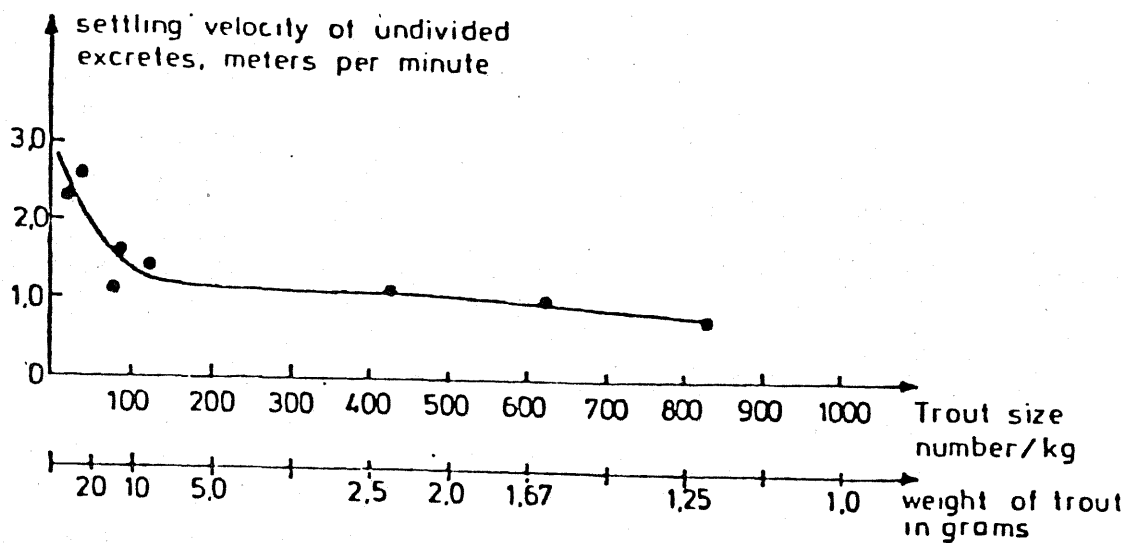
- g P/ kg ruokittua rehua
- g P / kg kasvatettua kalaa
- kg P / vuorokausi
- kg P / vuorokausi (kasvatuskauden keskiarvona)
- kg P / vuorokausi ( koko vuoden keskiarvona)
- kg P /vuosi

Koska kuormitus on hyvin erilainen eri vuodenaikoina, tulisi käytöstä poistaa sekä kasvatuskauden ajalle, että koko vuoden ajalle tasoitetut keskimääräiset vuorokausikuormituksen arvot, sillä ne ovat selvästi harhaanjohtavia esimerkiksi vertailtaessa eri kuormituslähteiden osuuksia vesistössä. Tarvittaessa, yksittäistapauksissa mainitut arvot tietenkin voivat olla käyttökelpoisia.

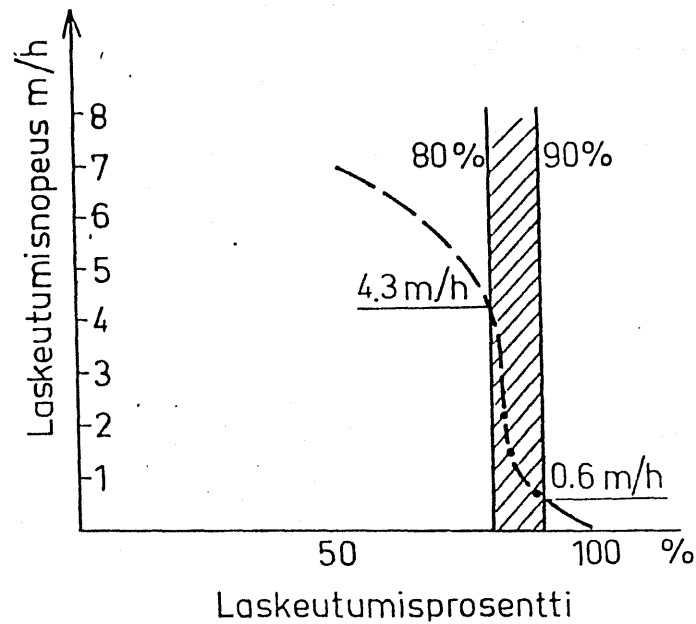
Kalanviljelylaitokset ovat usein sijoittuneet hyvin puhtaiden vesien äärelle ja kuormitushuippu osuu kesällä ajankohtaan, jolloin vedet ovat lämpimimmillään ja



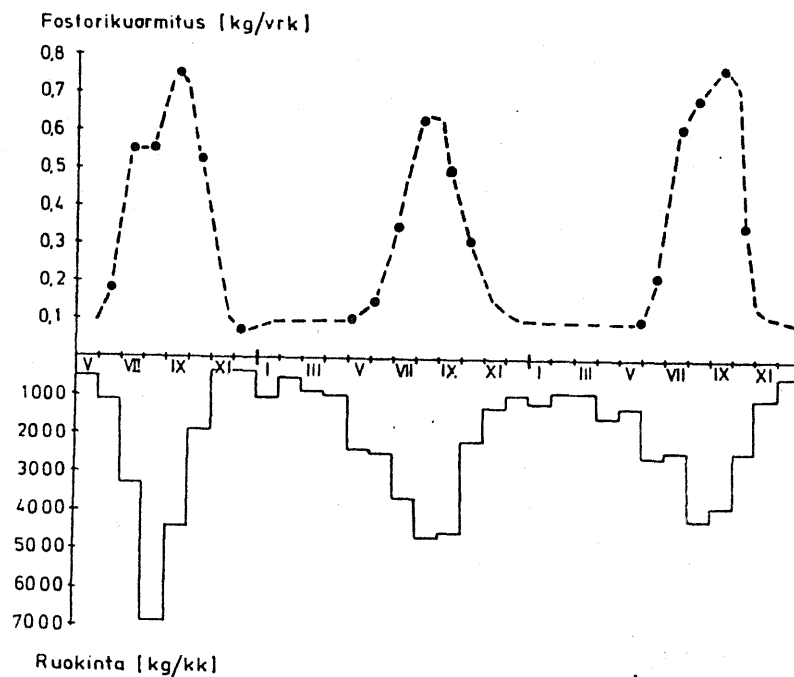
Kuva 1. Lietteen fosforipitoisuus (Kivinen 1980)



Kuva 2. Laskeutumisnopeudet jakautumattomille lohen poikasten eritteille (Warrer-Hansen 1979).



Kuva 3. Kala-altaiden pesulietteen laskeutumisnopeus Selänteen & Ollikaisen tulosten perusteella.



Kuva 4. Fosforikuormituksen ja ruokinnan jakautuma kolmena peräkkäisenä vuotena Taimen Oy:n Lankamaan kalalaitoksella.

virtaamat usein pienimmillään. Tämän vuoksi ravinnelisäyksestä saattaa aiheutua huomattavaa paikallista rehevöitymistä ja haittaa muulle vesienkäytölle. Vesistön laimentumisolosuhteet vaikeuttavat ratkaisevasti siihen missä laajuudessa rehevöitymistä ilmenee.

Kuormituksen ilmaisemiseen tulisi edellämainituista syistä vakiinnuttaa sellaiset kuormitusyksiköt, joiden tulkinnassa ei ole vaikeuksia. Käyttökelpoisina voidaan pitää esim. seuraavia yksiköitä:

- Laitosten keskinäinen vertailu kokonaiskuormituksen suhteen yksikkönä g ravinnetta / kg kasvatettua kalaa
- laitosten käyttämän veden puhdistustarkastelut yksikkönä g ravinnetta / kg ruokittua rehua

Mikäli kalalaitosten luissa tulevaisuudessa määritellään laitoksen suurimmat sallitut kuormitukset suurimman sallitun tuotannon sijasta, voitaisiin tällaisena tunnuslukuna käyttää esimerkiksi suurinta sallittua vuorokausikuormitusta samalla rajoittaen suurinta sallittua kuukausikuormitusta. Kuormituksen jakautumasta saadaan varsin luotettava kuva, mikäli laitoksen rehunkäyttö on tiedossa esim. kahden viikon jaksoissa. Tämä edellyttää kuitenkin luotettavaa virtaamamittausta sekä huolellista ja laitoksen purkuveden laadunvaihtelun huomioonottavaa näytteenottoa.

## 2. Kuormituksen vähentäminen

### 2.1. Yleistä

On ilmeistä, että valtaosa kalanviljelyssä vesistöä kuormittavista ravinteista on tuoreena sitoutunut kala-allaslietteen laskeutuvaan kiintoaineeseen. Tästä syystä lietteen talteenottaminen mahdollisimman tuoreena vähentää ravinnekuormitusta huomattavasti. Tuoreen lietteen kerääminen vähentää vastaavasti myös biologisen hapenkulutuksen muodossa olevaa vesistön kuormitusta.

Mikäli lietettä ei voida kerätä tuoreena ja ravinteet ehtivät liueta lietteessä tapahtuvien ilmiöiden seurauksena, tulee niiden "pyydystäminen" entistä työläämmäksi ja vaatii suuria alueita laskeutusaltaita varten.

### 2.2 Kiinteän jätteen kerääminen

#### 2.21 Tuore kala-allasliete

Tuoreen lietteen talteenotossa voidaan erottaa kaksi periaatteeltaan erilaista toimintavaihtoehtoa:

Joko käytetään viljelyssä niinsanottuja itsepuhdistuvia altaita, joista jäte poistuu virtauksen mukana nopeasti tai järjestetään altaiden virtausolosuhteet sellaisiksi, että liete kerääntyy tiettyihin paikkoihin, joista se voidaan helposti poistaa. Edellisessä tapauksessa vesi voidaan puhdistaa laskeuttamalla jälkimmäisessä laskeuttamalla tai, mikäli altaassa on erillinen viemärointi puhdistus- ja lietevesiä varten, johtaa esim. turvesuodattimen kautta vesistöön.

Altaiden itsepuhdistumiskyvystä ei ole kaikilta osin riittäviä tietoja. Eräitä ominaisuuksia voidaan kuitenkin luetella:

-virtausnopeuden ja sen jakautumisen altaassa on oltava sellainen, että laskeutunut jätetaine kulkeutuu pohjaa pitkin kohti poistoaukkoa.

-Poistoaukko sijaitsee altaan pohjalla. Mikäli poisto tapahtuu muualta tarvitaan joka tapauksessa erillinen poistoaukko lietevevettä varten.

-Altaan pohja on tasainen ja sileä.

Maassamme on kokemuksia pyöreistä itsepuhdistuvista altaista sekä neliömäisistä kulumistaan pyöristetystä altaista. Ominaista näille on veden kiertoliike, joka kuljettaa kiintoaineksen vähitellen kohti altaan keskellä olevaa poistoaukkoa. Lähes kaikki tänä päivänä käytetyt poikasaltaat ovat tätä tyyppiä. Tällaisen allastyypin koon ylärajaa itsepuhdistuvuutta silmälläpitäen ei ole vielä selvitetty.

Laukaan keskuskalanviljelylaitoksen lohihallin poikasaltaat ovat neliömäisiä, kulumistaan pyöristettyjä ja vain lievästi keskellä allasta sijaitsevaa poistoaukkoa kohti kallistettuja. Kooltaan altaat ovat 6 x 6 m. Havaintojen mukaan näiden altaiden itsepuhdistumisoima-omaisuudet ovat kohtalaiset. Puhtaanapysymistä edistää myös se, että altaat on katettu, mikä estää suoran auringonvalon aiheuttaman voimakkaan levänkasvun.

Kiintoaineksen keräämiseen altaan poistovedestä voidaan käyttää joko laskeutusallasta tai pyörreselkeytintä. Pyörreselkeyttimen etuna laskeutusaltaaseen nähden voidaan pitää sen kykyä kerätä liete täsmällisesti keskelle allaskammiota, sekä sille sallittua suurempaa virtaamaa puhdistimen vaatimaa pinta-alayksikköä kohti.

## 2.22 Altaiden pesuvesien käsittely

Yleensä maa-altaat puhdistetaan kerran tai kahdesti vuodessa niihin laskeutuneesta lietteestä. Tällöin suurin osa lietteen ravinteista on ehtinyt liueta (vrt. kuva 2). Näin harvoin tapahtuva pesu ei ole varsinaisesti vesiensuojelutoimi, vaikka siihen olisi yhdistetty huolellinen lietteenkeräys, vaan se kuuluu lähinnä laitoksen normaaliin huoltotoimintaan.

Altaiden puhdistus hoidetaan tavallisimmin vesisuihkun avulla. Pesuliete pumpataan lietevaunuun ja kuljetetaan pois esim. kaatopaikalle. Tämä tapahtuu tavallisimmin syksyllä kasvatuskauden päätyttyä ja altaiden ollessa tyhjillään.

Mikäli kalat jostain syystä ovat altaassa puhdistuksen aikana, lasketaan vesipinta niin alas, että virtaus pystyy huuhtomaan lietteen mukaansa. Tässä tapauksessa tarvitaan erillinen pesuvesiviemärointi, jos halutaan estää lietteen joutuminen vesistöön.

Pesulietteiden käsittelyvaihtoehdot ovat laskeutus ja suodatus. Eräille Keski-Suomessa sijaitseville kalalaitoksille on rakennettu turvesuodattimet lieteveden käsittelemiseksi. Niiden tehoa on selvittänyt Keski-Suomen vesipiiri. Tulokset ovat olleet lupaavia. Kokeiluja on selostanut Alonen (1981). Suodattimen fosforinpidätyskyky on ollut lähes 90 %.

### 2.3 Liuenneiden ravinteiden talteenotto

Kalankasvatuslaitoksen vesistöön päästämistä liukoista ravinteista laadullisesti tärkeimmät ovat typpi ja fosfori. Kalojen aineenvaihdunnasta peräisin olevat orgaaniset typpi- ja fosforiyhdisteet joko erittyvät liukoista yhdisteinä (proteiinimetabolian ylimäärätyppi erittyy aktiivisesti kidusten kautta ammoniuminä) tai liukenevat suurimmaksi osaksi tietyn ajan kuluessa biologisen hajotustoiminnan seurauksena.

Erittävä ammonium ( $\text{NH}_3$ ) ionisoituu ja liukenee ( $\text{NH}_4^+$ ) Suomen vesien pH- ja lämpötilaoloissa lähes täysin. Ammonium-ioni hapettuu bakteeritoiminnan tuloksena nitriiteiksi ja nitraateiksi. Fosforiyhdisteet esiintyvät liukoissa muodossaan fosfaatteina ja polyfosfaatteina.

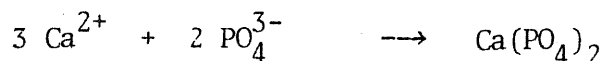
Jäteveden kemiallinen käsittely merkitsee jätevedessä olevien haitallisten aineiden poistamista tai neutraloimista erilaisten kemikaalien avulla. Kalankasvatusjätevesillä kemiallinen käsittely ei ole suoraan taloudellista suurten vesimäärien ja pienten pitoisuuksien vuoksi. Sen sijaan yhdistettynä mekaaniseen kiintoaineserotteluun kemikaalit voivat tulla kysymykseen.

Koska fosfori on Suomen vesistöissä tärkein kasviplanktonin perustuotantoa rajoittava minimitekijä, on päähuomio kiinnitettävä fosfaattien poistoon. Seuraavassa käsitellään mahdollisuuksia soveltaa kemikaalikäsittelyä tähän.

Neljä yleisimmin käytettyä saostuskemikaalia ovat: ferrosulfaatti ( $\text{FeSO}_4$ ), ferrikloridi ( $\text{FeCl}_3$ ), alumiinisulfaatti ( $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$ ) ja kalkki ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ).

Fosfaatit reagoivat vesiliuoksessaan vety-ionin kanssa, jolloin muodostuu molekyylejä ja ioneja. Fosfaatin neljän eri esiintymismuodon osuus vesiliuoksessa on pH-riippuvainen (kts. esim. Werner 1971). Metallionit reagoivat parhaiten  $\text{PO}_4^{3-}$  -ionin kanssa, koska sillä on suurin negatiivinen varaus.

Kalsium nostaa pH:ta, reagoi karbonaatti-alkaliteetin kanssa ja saostaa kalsium-karbonaattia. Ortofosfaatin kanssa reagoidessaan se muodostaa kalsiumhydroksyyliapatiittia. Fosfaatti-ionin kanssa kalsium reagoi seuraavasti:



Myös tämä reaktio on voimakkaasti pH-riippuvainen. Selvä saostuminen tapahtuu vasta kun pH on yli 8 ja saostuminen on sitä täydellisempää, mitä korkeampi on pH.

Mikäli kalkkia lisätään riittävästi saostuu magnesiumhydroksidia, mikä osaltaan toimii tehokkaana kiinteiden aineiden koagulanttina.

Tarvittava kalkkiannostus pH:n nostamiseksi arvoon 11 on riippuvainen jäteveden alkaliteetistä.

Kalkkisaostus saattaisi soveltua pyörreselkeytyksen lietevesille ennen turvesuodattusta. Tällöin saavutettaisiin samalla käytetyn turpeen happamuuden vähentyminen kasvuturvekäyttöön soveltuvaksi. Kalkin vaikutus turpeen ravinteiden pädätyskykyyn suodattimena tulisi kuitenkin erikseen selvittää.

Kahdenarvoinen ferrirauta saostaa fosfaatin pH-alueella 8-14. Kolmiarvoinen rauta reagoi  $\text{PO}_4^{3-}$  ja  $\text{OH}^-$  -ionien kanssa. pH-alueella 3-8 muodostuu  $\text{FePO}_4$ -saostuma, kun pH on yli 8 alkaa  $\text{OH}^-$ -ioni kilpailla  $\text{PO}_4$ -ionin kanssa ja fosfaatti liukenee ja sen sijaan syntyy ferrihydroksidisaostuma. Alumiini-ionin fosfaatti-reaktiot ovat vastaavat kuin kolmiarvoisella raudalla. Kun pH on yli 9 alumiini reagoi  $\text{OH}^-$ -ionin kanssa ja fosfaattisaostuma liukenee.

Kemikaalikustannukset asumajätevesien puhdistuksessa ovat seuraavat (KEMIRA OY:n vuoden 1982 hintojen mukaan):

kalkki $\text{Ca}(\text{OH})_2$	15.5 - 18.4	p/m <sup>3</sup>
" CaO	14.1 - 21.5	p/m <sup>3</sup>
alumiinisulfaatti	7.0 - 10.5	p/m <sup>3</sup>
ferrosulfaatti	1.1 - 2.1	p/m <sup>3</sup>
polyelektrolyytit	1.6 - 1.8	p/m <sup>3</sup>



Mikäli alumiini- tai ferrosulfaattia käytettäisiin pyörreselkeyttimen lieteveden käsittelyyn ennen turvesuodatusta tulisi pH:n säätö suorittaa samanaikaisesti esim. kalkin avulla. Turpeen käsittelyssä edellä mainitut pH-riippuvuudet ja fosfaattien liukoisuus tulisi ottaa huomioon.

Metalli-ionit saostavat vesiliuoksesta myös suuria orgaanisia molekyylejä vaikuttamalla molekyylien nettovaraukseen.

Sandman (1981) on todennut imuruoppausmassojen selkeytyksessä käyttökelpoisiksi kemikaaleiksi alumiinisulfaatin, ferrikloridin ja anioniset polyelektrolyytit. Viimeksimainitut osoittautuivat kustannustensa ja tehonsa puolesta parhaiksi. Polyelektrolyytit saattavat olla käyttökelpoisia pyörreselkeyttimen lieteveden ja ehkä pienillä laitoksilla jopa koko poistoveden käsittelyyn.

Liuenneiden ravinteiden talteenottoa makrofyyttien tuotantoa ja "sadonkorjuuta" hyväksikäyttäen on Suomessa tutkinut Lindqvist et al (1981). Alustavien käsitysten perusteella näyttää ilmeiseltä, että makrofyyttien käyttö ravinteiden keräämiseen on työläs ja vaikeasti hallittava menetelmä. Lisäksi tarvittava allaspinta-ala on huomattavan suuri.

### 3. Pyörreselkeytin

#### 3.1. Toimintaperiaate

Pyörreselkeyttimellä tarkoitetaan pyöreää allasta, jossa tulovirtauksen aiheuttaman veden pyörimisliikkeen avulla kerätään laskeutuva kiintoaine keskelle allasta. Ilmiö voidaan havaita esimerkiksi teekupista jota hämmennettäessä saadaan aikaan pyörimisliike ja teelettien kerääntyminen keskelle kupin pohjaa.

Tavanomaisessa pyörreselkeyttimessä ei kiintoainepartikkeleihin vaikuttava keskipakovoima pysty erottamaan juurikaan kiintoainetta vedestä, sillä nopeudet ovat niin pieniä, että tiheyserot kiinteän ja nestemäisen aineen välillä eivät vaikuta niin paljon, että erottumista tapahtuisi kuten esimerkiksi sykloonnissa, vaan kiintoaine, joka laskeutuu pyöreän altaan pohjalle, joutuu altaassa syntyvien sekundäärivirtausten kuljettamana altaan keskellä sijaitsevaa liete- pesää tai poistoputkea kohti. Täten tarkasteltavat seikat ovat laskeutus ja syntyvät sekundäärivirtaukset.

#### 3.2. Mitoitustarkastelut

##### 3.2.1 Mallikokeen mittakaavamuunnokset

Virtausmalleissa, joissa veden liike on painovoiman aiheuttamaa tai voimakkaasti sen vaikutuksen alaista käytetään mittakaavatarkasteluissa apuna Frouden mallilakia. Tällöin mallin ominaisuudet valitaan niin, että ns. Frouden luku

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot h}}$$

on sekä mallissa että prototyypissä sama.

Toisaalta, jotta virtaus olisi myös pienipiirteisyydeltään vastaava mallin ja prototyypin välillä tulisi myös ns. Reynoldsin luvun

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

olla molemmissa sama.

Nämä vaatimukset ovat ristiriidassa keskenään, mikäli mallissa ja prototyypissä virtaa sama neste. Tällöin valitaan yleensä jompikumpi laki (Frouden tai Reynoldsin mallin laki) mallin perustaksi. Virtausilmiöitä tarkasteltaessa ja käytettäessä Frouden lakia on kuitenkin tarkastettava, että sekä mallissa että prototyypissä vallitsee vastaava virtaustila (turbulentti tai laminaari), mikä tarkastetaan Reynoldsin luvun avulla. Jotta pyörreselkeyttimen mitoitusessa voitaisiin käyttää hyväksi Frouden mallinlakia, tulisi seuraavat vaatimukset tulla täytetyiksi edellä kerrottujen lisäksi.

- 1) Riittävä geometrinen yhdenmukaisuus
- 2) Virtaus mallissa ja prototyypissä samanlaista
- 3) Laskeutuvan aineksen laskeutumisenopeuden (=koosta riippuva) tulee noudattaa Frouden lain mukaan laskettua nopeutta.

Näistä vaatimuksista ensimmäinen voidaan helposti totuttaa, toista vaatimusta ei pystytä Pilot-Plant kokeessa täyttämään koska laskeutuvan aineksen kokoa on voitava muttaa tarkastelumittakaavasta riippuen. Virtauslaboratoriossa koe voitaisiin suorittaa käyttäen kiintoaineena keinoainetta haluttujen laskeutumisnopeuksien mukaan jaoteltuna.

Kun koe päätettiin suorittaa kentällä käyttöolosuhteita vastaavassa tilanteessa, ei mitoituksessa voida käyttää tällöin apuna Frouden mallilakia muutoin kuin erikoistapauksissa. Myöskään Reynoldsin laki ei sovellu käytettäväksi koko selkeyttimen mitoitukseen joskin laskeutumistarkastelussa Reynoldsin luku on mallissa sama kuin prototyypissä. Näistä syistä johtuen koe on suoritettu kahdella erikokoisella mallilla mitoitus tietojen selvittämiseksi.

### 3.22 Laskeutuminen

Laskeutuva kiintoaine on erotettavissa vedestä pyörreselkeyttimen avulla. Tästä syystä suunnittelussa tulee kiinnittää huomio siihen, että laskeutumista edistetään rakenteellisilla ratkaisuilla. Kun virtaus tuloputkessa on tasaista ja mahdollisimman vähäpyörteistä, alkaa raskain kiintoaineisuus laskeutua jo ennen varsinaista selkeyttintä. Näin se on laskeutunut usein jo altaan pohjan tasoon kammioon tullessaan. Onkin ilmeistä, että laitteen toiminnan varmistamisessa tuloputken oikealla suunnittelulla on huomattava osuus. Itse selkeytys-

altaassa tapahtuva laskeutus on melko vähäistä verrattuna tuloputkessa tapahtuvaan, jos selkeytin toimii optimaalisella tavalla. Warrer-Hansenin (1979) mukaan kirjolohien jakautumattomien eritteiden laskeutumisnopeudet ovat suhteellisen suuria. Tästä syystä niiden laskeutumistarkastelut voidaan suorittaa yksinkertaisin menetelmin tekemättä merkittävää virhettä.

Jos kiinteä kappale putoaa vapaasti nesteessä, sen nopeus aluksi kiihtyy. Kun nesteen vastus nopeuden mukana kasvaa, muuttuu liike tasaiseksi. Jos tarkastellaan partikkelin laskeutumista astiassa havaitaan sen tapahtuvan maan vetovoiman aiheuttamana seuraavan kaavan mukaan.

$$P_1 = (\rho_1 - \rho) g \cdot V, \text{ missä}$$

$P_1$  = partikkeliin vaikuttava voima N  
 $\rho_1$  = partikkelin tiheys  $\text{kg/m}^3$   
 $\rho$  = nesteen tiheys  $\text{kg/m}^3$   
 $g$  = maan vetovoiman kiihtyvyys  $\text{m/s}^2$   
 $V$  = partikkelin tilavuus  $\text{m}^3$

Nesteen aiheuttama vastustava voima on riippuvainen veden dynaamisesta viskositeetista, veden tiheydestä, partikkelin laskeutumisnopeudesta ja kappaleen halkaisijasta.

$$P_2 = v_s d^2 \theta(\text{Re}), \text{ missä}$$

$P_2$  = liikettä vastustava voima  
 $v_s$  = partikkelin laskeutumisnopeus  
 $d$  = partikkelin halkaisija  
 $\text{Re}$  = Reynoldsin luku  
 $\theta(\text{Re})$  = funktio Reynoldsin luvusta

Funktio  $\theta(\text{Re})$  on ns. Newtonin vastuskerroin  $C_d$ . Kun edelliseen kaavaan sijoitetaan  $C_d$ , korvataan termi  $d^2$  pinta-alalla  $A_c$  ja  $\rho v_s^2$  dynaamisen paineen

arvolla  $\rho \frac{v_s^2}{2}$ , saadaan

$$P_2 = \frac{C_d A_c \cdot \rho \cdot v_s^2}{2}$$

Koska partikkeli laskeutuessaan saavuttaa nopeuden, jolla liikettä aiheuttava ja vastustava voima ovat yhtä suuret saadaan laskeutumisnopeudeksi:

$$v_s = \sqrt{\frac{2g}{C_d} \left( \frac{\rho_1 - \rho}{\rho} \right) \frac{V}{A_c}}$$

Yhtälö kuvaa yksittäisen partikkelin laskeutumista gravitaatiovoiman vaikutuksesta.

Kun Reynoldin luku on  $Re < 2$ , ovat sitkeydestä aiheutuvat voimat hallitsevia ja

$$C_d = \frac{24}{N_{Re}}, \text{ missä}$$

$$N_{Re} = \frac{v_s d \rho}{\eta}$$

Sijoittamalla nämä laskeutumisnopeuden  $v_s$  lausekkeeseen saadaan pallonmuotoiselle pienelle kappaleelle

$$v_s = \frac{\rho_1 - \rho}{18 \eta} \cdot g \cdot d^2$$

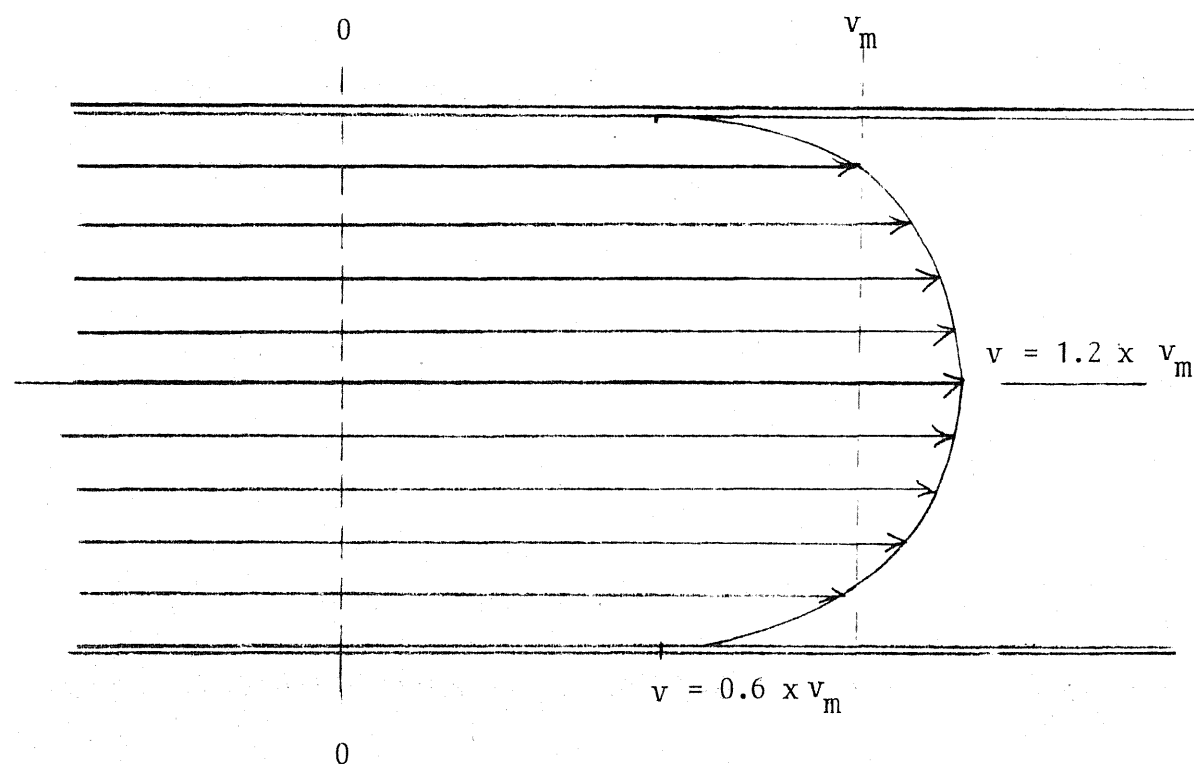
yhtälö tunnetaan Stokes'in lain nimellä. Laskeutumisnopeus on siis verrannollinen veden sitkeyteen, joka on voimakkaasti riippuvainen veden lämpötilasta. Esimerkiksi sama partikkeli laskeutuu 20° C:ssa puolitoista kertaa nopeammin kuin

jos veden lämpötila on vain 4°C. Reynoldsin luvun ollessa välillä  $2 < Re < 1 \cdot 10^4$  saadaan Newtonin vastuskertoimelle arvo

$$C_d = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0.34$$

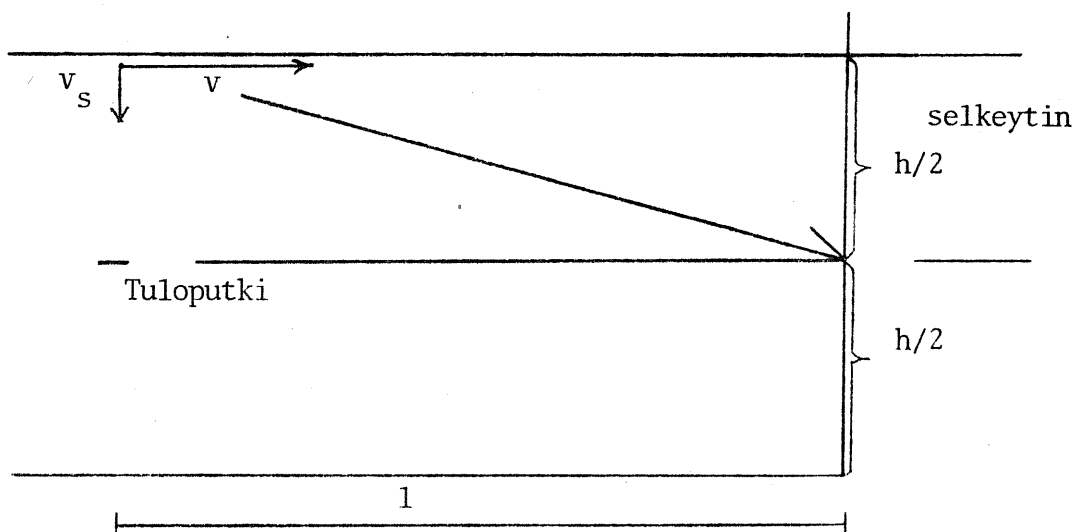
Kun  $Re$  on yli 500 havaitaan, että sen arvo on lähes vakio eli 0.5.

Tarkasteltaessa pyörreselkeyttä voidaan havaita, että osa laskeutumisesta tapahtuu jo tuloputkessa. Jos oletetaan, että virtaus tuloputkessa jonka poikkileikkaus on suorakaide, on tasaista ja se tapahtuu turbulentisella alueella, kuten yleensä, on virtausnopeuden jakautuma likimain kuvan 5 mukainen.



Kuva 5. Virtausnopeuden jakautuma putkessa kun virtaustila on turbulenttinen.

Kun halutaan, että jäte laskeutuu tuloputkessa vähintään putken keskikohdan tasoon voidaan vaadittavan tuloputken pituutta arvioida seuraavasti: Kuva 6,



Kuva 6. Tuloputken pituuden arvioiminen laskeutumisnopeuden perusteella.

Partikkeli laskeutuu ajassa  $t$  nopeudella  $v_s$  matkan  $h/2$  ja kulkee samalla virtauksen mukana matkan  $l$  nopeudella  $v$  (joksi otetaan nopeusjakautuma huomioiden  $1,2 \times v_m$ ). Tästä saadaan

$$\frac{v \cdot t}{v_s \cdot t} = \frac{l}{h/2} \quad \therefore \quad l = \frac{1}{2} \times \frac{v}{v_s} \times h$$

Virtauksen turbulenssi hidastanee käytännössä laskeutumista jonkin verran. Tuloputkessa on sekundäärivirtausten nopeus noin 1-2 % päävirtauksesta. Kun yhdistetään sekä turbulenssi että sekundäärivirtausten aiheuttama laskeutumisen hidastuminen ja otetaan se huomioon kertoimella  $j$  saadaan pituudeksi

$$l = \frac{1}{2} \times j \times \frac{v}{v_s} \times h$$

Esimerkki: Tuloputken korkeus  $h = 1.0 \text{ m}$   
 Virtausnopeus  $v = 0.2 \text{ m}$   
 Laskeutumisnopeus  $v_s = 1.0 \text{ m/min}$   
 kerroin  $j = 1.25$

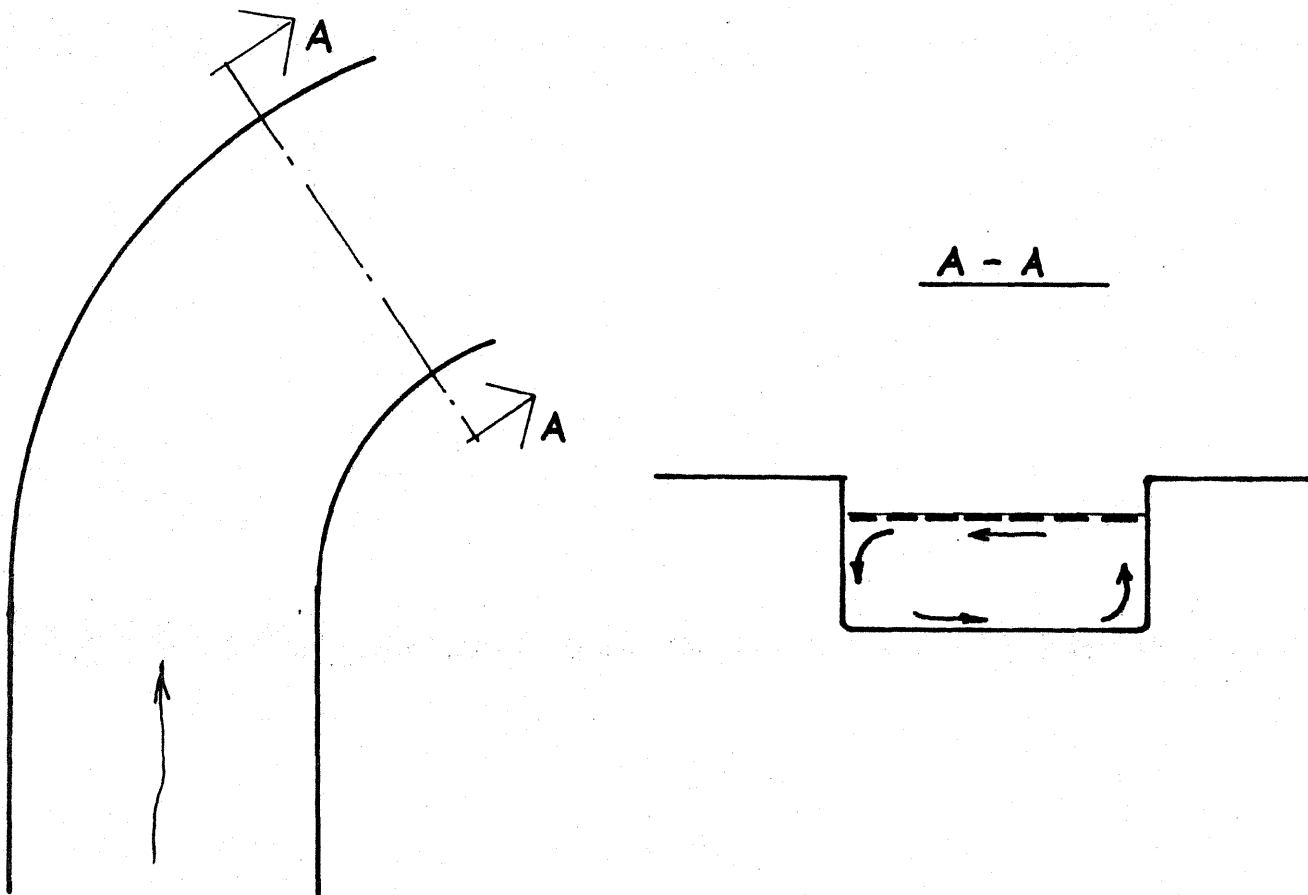
Tuloputken pituus  $l$

$$l = \frac{1}{2} \times 1.25 \times \frac{0.20}{0.017} \times 1.0 = 7.5 \text{ m}$$

### 3.23 Pyörrevirtaus

Pyörrevirtaus luo selkeytsaltaaseen poikittaisvirtauksia, joiden ansiosta laskeutuva kiintoaine kulkeutuu altaan keskelle. Poikittaisvirtaukset ovat voimakkaimpia vapaavesipintaisen selkeyttimen pinnassa ja pohjassa. Poikittaisvirtaukset syntyvät samoin kuin veden virratessa kaarteessa (kuva 7 ). Keskipakoisvoima ajaa vettä ulkokaarteeseen päin. Kun kitka altaan pohjalla on suurempi kuin altaan pinnassa, jossa toisena rajapintana on ilma, syntyy epätasapaino, jolloin pintavesi virtaa kohti kaarteeseen ulkoreunaa ja pohjan lähellä oleva vesikerros siten alkaa virrata kohti sisäkaaretta. Tärkeimmät sekundäärivirtausten syntymiseen vaikuttavat syyt ovat

1. seinämäkitka ja pohjakitka
2. keskipakoisvoima
3. nopeuden epätasainen pystyjakautuma



Kuva 7. Poikittaisvirtauksen syntyminen veden virratessa kaarteessa.



Sekundäärivirtauksen suuruutta voidaan kuvata tekijällä

$$S_{xy} = \frac{v_{xy}^2}{v^2} \cdot 100 \% \quad (\text{Shukry})$$

$v_{xy}$  = nopeus pl. tasossa

$v$  = keskimääräinen nopeus päävirtaussuuntaan

Suorakaiteenmuotoisena teräskourussa suorittamiensa kokeiden perusteella Shukry totesi, että verkavirtauksen vallitessa

- $S_{xy}$  on suhteellisen suuri pienillä Re-luvun arvoilla ja pienenee kun Re kasvaa
- $S_{xy}$ :llä on minimi kun kaarresäde / uomanleveys

$$\frac{r}{b} = 3.0$$

- Syvyyden kasvaessa  $S_{xy}$  pienenee
- $S_{xy}$  kasvaa kun kääntymiskulma kasvaa
- sekundäärivirtauksen liike-energia on noin pari prosenttia koko liike-energiasta
- $S_{xy}$  ei sanottavasti vaikuta pinnan kaltevuuteen.

Virtauksen tulonopeus altaaseen tulisi olla poikittaisten virtausten syntymisen kannalta optimaalinen. Tämä johtaa kuitenkin siihen, että suuremmissa selkeytimissä veden tulonopeus kasvaisi melko suureksi. Tällöin jätteen laskeutuminen vaikeutuisi voimakkaasti vaikuttavan turbulenssin vuoksi ja selkeytysteho kärsisi. Tämän vuoksi käytettäessä pyörreselkeytintä, on syytä pitäytyä pienehköissä yksiköissä ennen kuin saadaan selville suurempien selkeytinten toimintavarmuus. Mitoitus on tässä tapauksessa tehtävissä suoraan tuloputken kokoon tai virtaamaan perustuen.

#### 4. Mallikoe

##### 4.1 Koejärjestelyt

Mallikoe tehtiin Laukaan Keskuskalanviljelylaitoksella heinä-syyskuussa 1981. Kokeissa selkeyttimen toimintaa testattiin laitoksen lohihallin poistovesien käsittelyssä.

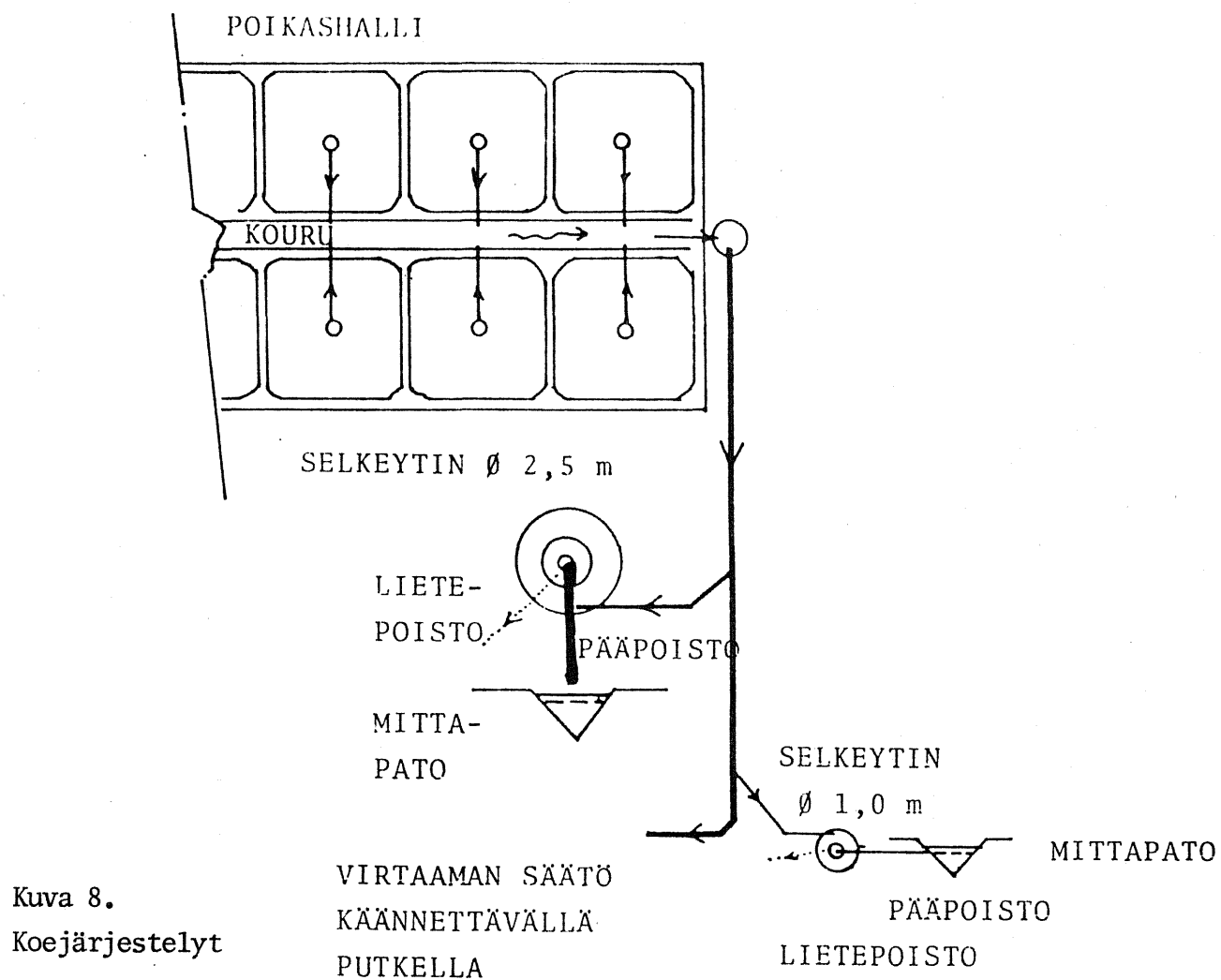
Lohenpoikasten toisen kesän kasvatukseen käytetyssä hallissa ("lohihallissa") on 20 kpl 36 m<sup>2</sup>:n altaita. Altaissa on pyöristetyt kulmat ja tulovesi suunnataan niissä siten, että vesi saadaan pyörivään liikkeeseen. Havaintojen mukaan nämä altaat toimivat kohtalaisesti itsepuhdistuvina. Vesi poistuu altaista keskellä olevan pohjasihdin kautta pohjalta kokoojakouruun. Kouru johtaa kaivoon, josta vesi otettiin putkella selkeyttimiin (kuva 8). Virtaamat mitattiin V-aukkoisilla mittapadoilla selkeyttimien pääpoistolinjoilta.

Kokeissa käytettiin kahta mallia, jotta saataisiin selville rakenteen koon ja virtaaman suhde. Pienempi malli toimi pelkästään jatkuvasti lietettä poistaen (kuva 9). Suuremmassa oli lietepesä, johon lietteen voidaan antaa laskeutua ja josta se poistetaan kerta-annoksina (kuva 10).

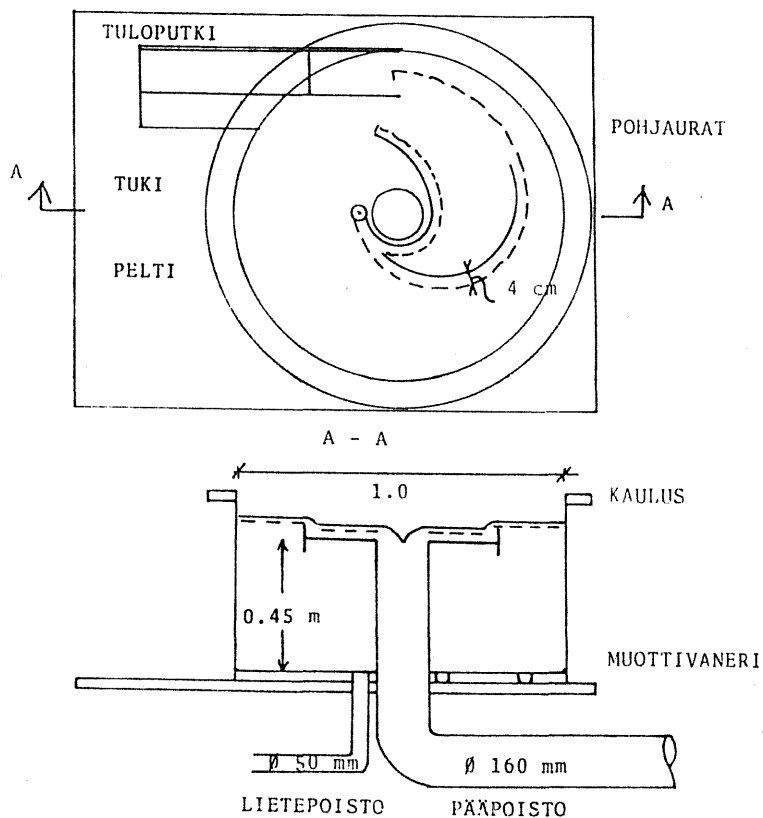
##### 4.2 Kasvatustoiminta lohihallissa koeaikana

Lohihallin altaisiin sijoitettiin touko- kesäkuun vaihteessa 1981 yhteensä 160 800 nevan kantaa olevan merilohen poikasta 18 altaaseen ja kahteen altaaseen Rautalammin reitin kantaa olevia taimenen poikasia toisen kasvatuskauden kasvatukseen. Poikasten keskipaino oli kasvukauden alussa 6.4 g ja yhteispaino 1129 kg. Kasvukauden lopussa joulukuun alussa nevan lohen poikasia oli 135 200 kpl, keskipainoltaan 41.3 g ja yhteispainoltaan 5 581 kg. Kalatiheys kasvatuskauden lopussa oli 9.2 kg/m<sup>3</sup> eli 117.6 kg sekunttilitraa kohti.

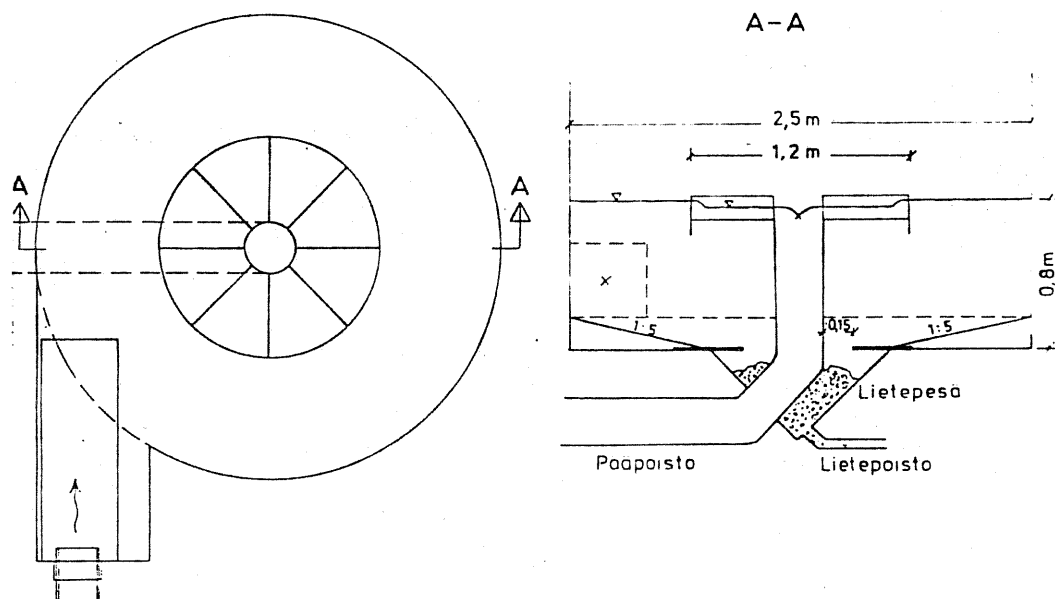
Ruokinta tapahtui rehuaautomaateilla ja ohjauskeskuksella, koeaikana klo 4.00 - 22.00 tunnin välein kaksi minuuttia kerrallaan. Rehun kulutusta seurattiin koeaikana; Rehuautomaattien säiliöiden täyttämiseen käytettyjen säkkien lukumäärä merkittiin ylös. Koko lohihallin rehunkulutuksen (kg / vrk) rehunkulutuksen viiden rehunlisäyspäivämäärän liukuva keskiarvo on esitetty kuvassa 11.



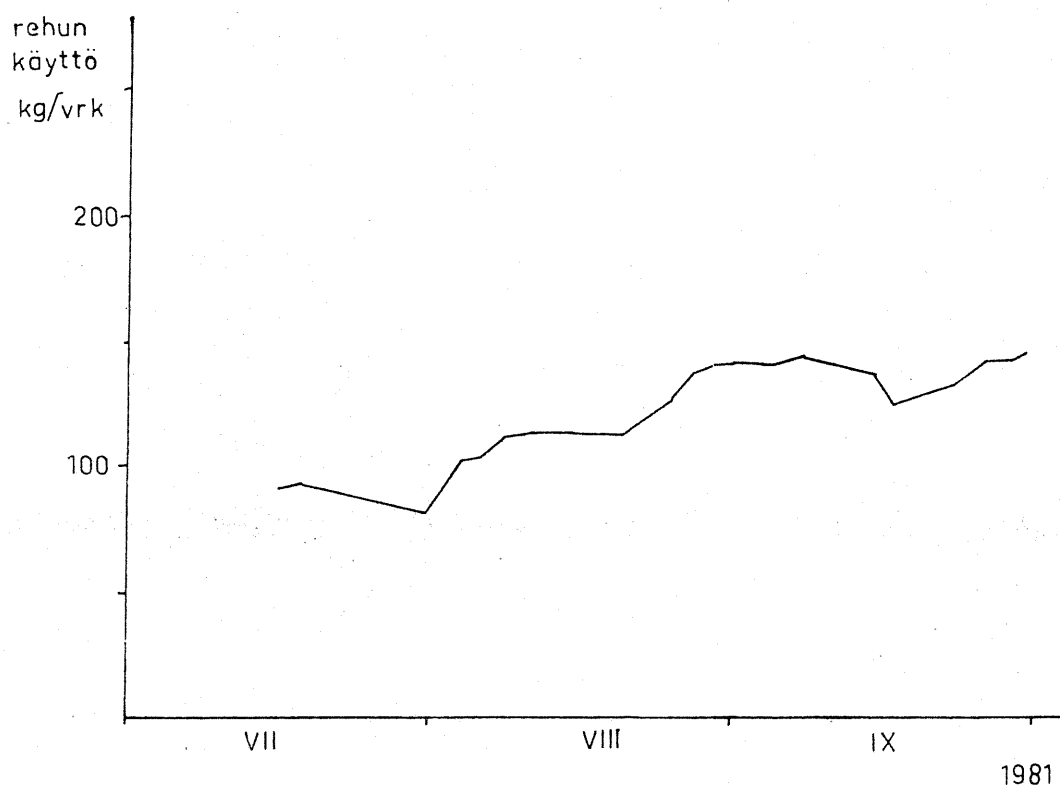
Kuva 8.  
Koejärjestelyt



Kuva 9.  
Koeselkeyttimen rakenne (Pienempi  $\varnothing 1.0 \text{ m}$ ).



Kuva 10. Koeselkeyttimen rakenne (Suuri  $\emptyset$  2,5 m).

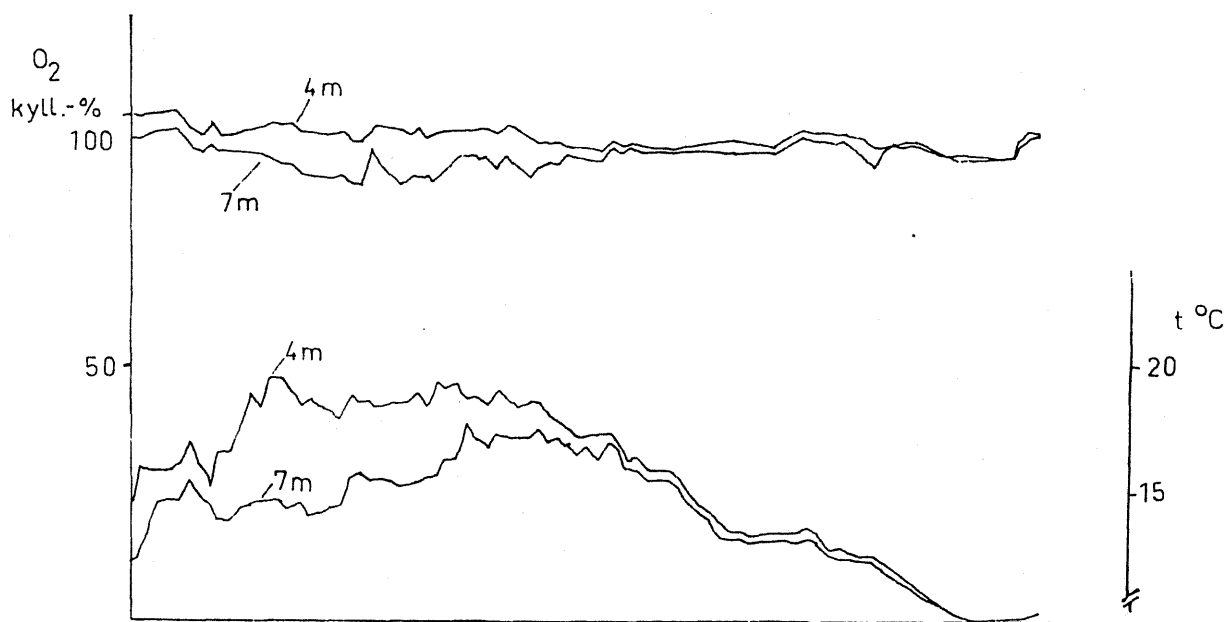


Kuva 11. Rehunkulutuksen 5 vrk:n liukuva keskiarvo.

### 4.3 Kasvatusveden ominaisuudet

Kasvatusveden lämpötilat mitattiin päivittäin klo 7 ja klo 16. Veden lämpötila oli korkeimmillaan 6.8. 1981 klo 16, jolloin lämpötila oli 19.6 °C.

Happipitoisuus vaihteli 8.0 - 12.0 mg/l ( 85 - 104 %). Alimmillaan happipitoisuus oli 17. elokuuta 8.0 mg/l ( 85 %). Happipitoisuutta seurattiin päivittäin klo 7-8 E.I.L. -happimittarilla. Hapen kyllästysarvot ja veden lämpötilat koeaikana on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Hapen kyllästysarvot ja veden lämpötila.

Laukaan keskuskalanviljelylaitoksen tuloveden laatua seurataan kerran kuussa tehtävillä vesianalyysillä. Koeajan analyysitulokset olivat seuraavat:

analyysi	vaihteluväli
pH	6.8 - 7.1
KMnO <sub>4</sub> -kul. mg/l	25 - 28
Väri mg Pt/l	25 - 35
Kok. N mg/l	0.42- 0.50
Kok. P mg/l	0.009 - 0.025
25/μS/cm	49 - 50
BHK <sub>7</sub> mg O <sub>2</sub> /l	0.6 - 2.7

Analyysit on tehnyt Jyväskylän yliopiston Hydrobiologian tutkimuskeskus. Vesinäytteessä on 2/3 Peurunkajärvestä 4 m:n syvyydestä ja 1/3 Peurunkajärvestä 7 m:n syvyydestä tulevaa vettä.

#### 4.4 Tutkimusmenetelmät

##### a) näytteenotto

Silmämääräisten havaintojen mukaan kasvatushallin poistovesi sisälsi kiintoainetta epätasaisesti. Näytteenotto pyrittiin suunnittelemaan sellaiseksi, että kiintoaineen epätasainen jakauma virtaaman suhteen tulisi huomioonotetuksi.

Tähän pyrittiin siten, että otettiin suuri määrä pieniä osanäytteitä pitemmän koejakson kuluessa. Osanäytteet saatiin kytkinkellon ja 24 V:n tasavirralla toimivien hammasrataspumppujen avulla. Yleensä keräily tapahtui noin kolmen tunnin ajan kymmenen minuutin välein, pumpaten kaksi minuuttia kerrallaan.

Osanäytteitä keräiltiin sekä tulevasta että lähtevästä vedestä (selkeyttimen liepetoisto ja pääpoisto sekä selkeyttimeen tuleva lohihallin poistovesi). Osanäytteet kerättiin kannellisiin muovisaaveihin joista lopuksi otettiin litran vesinäyte.

Kiintoaines- ja haihdutusjäätymismääritys antoivat tuloksen, jossa pyörreselkeyttimestä poistuvan kiintoainesmäärän summa ei täsmännyt tulevan veden kiintoainemäärään. Virhe ylitti selvästi punnitusepätarkkuden vuoksi mahdollisen noin kymmenen prosentin virheen. Asian tarkistamiseksi näytteenotto toistettiin joitakin kertoja ja suodatettiin lisäksi näytesaaveihin kertynyt vesimäärä kokonaan seulakankaan pussin läpi (silmäkokko  $100\text{ }\mu\text{m}$ ). Tällöin havittiin, että litran vesinäytteistä tehty kiintoainemääritys ei täsmännyt, mutta seulapussiin jääneen aineksen haihdutusjäätymös määrittämällä tase täsmäsi alle kymmenen prosentin tarkkuudella.

Litran vesinäytteen tutkiminen kiintoainemäärityksellä ei siis huolellisesta sekoittamisesta huolimatta ollut riittävän edustava otos 80 litran kokoomanäytteestä. Rinnakkaisnäytteet eivät tilannetta parantaneet. Kiintoainepartikkelien kokojakautumasta selville päästäksemme suodatimme kahdella sisäkkäin asetetulla, seulakankaasta valmistetulla pussilla (silmäkoot  $50$  ja  $200\text{ }\mu\text{m}$ ) selkeyttimen

lietevettä. Kiintoaineen jakautuminen oli tällöin keskimäärin seuraava (kaksi rinnakkaiskoetta, kolme rinnakkaisanalyysiä):

-Vesinäyte ja kiintoainemääritys ennen suodatusta: 4.7 mg/l

-Ensimmäiseen seulakangaspussiin jäänyt haihdustusjäännös (200  $\mu$ m):

3.93 mg/l (40 %)

-Toiseen seulakangaspussiin (50  $\mu$ m) jäänyt haihdutusjäännös: 2.13 mg/l  
(22 %)

-Vesinäyte ja kiintoainemääritys seulakangassuodatuksen jälkeen:

3.67 mg/l (38 %)

-Yhteensä poistuvassa vedessä:

9.73 mg/l (100 %)

Kun otetaan huomioon edellä oleva tulos, voidaan todeta, että tavanomaisella otannalla ja kiintoainemäärityksellä jää kiintoainetta tässä tapauksessa havaitsematta keskimäärin 50 % ( $9.73 - 4.7 = 5.03$  mg/l). Kun lisäksi otetaan huomioon Laukaan keskuskalanviljelylaitoksen tuloveden keskimääräinen kiintoainepitoisuus, voidaan todeta, että 200  $\mu$ m:n havas pidättää lyhytaikaisessa suodatuksessa keskimäärin 50 % ja 50  $\mu$ m:n havas keskimäärin 90 % kiintoaineesta, jonka kalanviljelytoiminta veteen oli lisännyt.

Mallikokeessa päädyttiin pienen mallin tutkimuksissa käyttämään näytteenotto-menetelmänä 200  $\mu$ m:n seulakankaasta valmistettua pussia, jolla lietepoiston ja pääpoiston vettä suodatettiin yhtä kauan aikaa.

Näytteenotossa meneteltiin vastaavalla tavalla myös suuremman pyörreselkeytin-mallin näytteenotossa elo- syyskuussa (50  $\mu$ m:n havas). Suurten virtaamien vuoksi jouduttiin kuitenkin turvautumaan näytteenottoletkuun, jonka avulla vain osa lietepoiston ja pääpoiston vedestä suodatettiin.

Koska hiukkaskoko vaikuttaa varsin voimakkaasti laskeutumisnopeuteen (esim. Warrer-Hansen 1979), voidaan 50  $\mu\text{m}$ :n seulakangassuodatusta pitää täysin sopivana näytteenottotapana; Pyörreselkeytin ei vaikuta pienempiin kiintoainehiukkasiin.

## b) Analysointi

Seulakangaspussiin huuhdeltu kiintoaine huuhdeltiin taarattuun haihdutusmaljaan, jota kuivattiin 105°C:ssa kunnes vakioaino oli saavutettu.

Muut analyysit tehtiin kokonanäytteistä otetuista litran vesinäytteistä. Kiintoaine analysoitiin standardin (SFS 3037) mukaisesti. Muut analyysimenetelmät olivat Vesihallituksen käyttämien analyysimenetelmien mukaiset (Erkomaa & Mäkinen 1975).

## 4.5. Tulokset

### 4.5.1. Yleistä

Tämän tutkimuksen yhteydessä tehtyjen havaintojen perusteella lietettä kertyy 1.0 - 1.3 l ruokittua rehukiloa kohti. Laskeutuneen vedellä kyllästetyn (=altaassa veden alla olevan) lietteen kuiva-ainepitoisuus oli 18 % eli yksi litra laskeutunutta lietettä sisältää 180 g kuiva-ainetta. Tuoreen lietteen tiheys oli noin 1.04. Arvot lietteenkertymisestä vaihtelevat. Esimerkiksi Pohjois-Suomen keskuskalanviljelylaitoksella on kertymäksi saatu noin 650 g kuiva-ainetta tuotettua kalakiloa kohden vastaten noin 325 g ruokittua rehukiloa kohti (Myllylä 1976).

Erot selkeyttimen avulla talteensaadun ja vesistöön pääsevän kiintoaineen fosforipitoisuuksissa olivat huomattavat. Pienestä selkeyttimestä otetut näytteet sisälsivät kuiva-ainesta määritettynä seuraavasti fosforia (liite 1).

Talteensaatu liete	34.0 mgP/g kuiv. lietettä
Vesistöön päässyt	13.3 mgP/g kuiv. lietettä



Suuremman selkeyttimen vesistöön päästämä fosforiosuus oli kahden näytteen mukaan keskimäärin  $11.35 \text{ mgP/g } \frac{(10.6 + 12.1)}{2}$  (liite 2)

Hallista selkeyttimeen tuleva vesi sisälsi vastaavasti  $19.3 \text{ mgP/g } \frac{(22.5 + 16.1)}{2}$ .

Kuvan 1 mukaan vesistöön päässyt liete oli fosforipitoisuuden perusteella arvioituna iältään noin 1 viikon vanhaa. Tuloksista voidaan päätellä, että laskeutukseen perustuva selkeyttäminen on tehokas puhdistusmenetelmä silloin, kun jäte saadaan käsittelyyn tuoreena. Tässä tutkimuksessa olleen Laukaan keskuskalanviljelylaitoksen lohiahallin virtausolosuhteista johtuen kaikkea altaissa syntyvää lietettä ei saatu tuoreena selkeytykseen vaan osa siitä laskeutui hallin väljästi mitoitettuun poistokouruun. Liuennutta fosforiosuutta voidaan arvioida seuraavasti:

17.9.1981 tehdyn kokeen mukaan hallin poistovedestä havakseen pidättyi kiintoainetta pitoisuutena laskettuna  $5.65 \text{ mg/l}$  kun tämän osuuden fosforipitoisuus kuiva-aineessa on noin  $19.3 \text{ } \mu\text{gP/mg}$  saadaan fosforipitoisuudeksi

	109.0 $\mu\text{g/l}$
Havaksen läpäissyt kokonaisfosfori oli (liite 3)	+ 72.5 $\mu\text{g/l}$
(Laitoksen raakaveden kokonaisfosfori $11,5 \text{ } \mu\text{g/l}$ )	yht. 181.5 $\mu\text{g/l}$
vähennetään).	- 11.5 $\mu\text{g/l}$
Kaikkiaan syntyy fosforia	170.0 $\mu\text{g/l}$
	=====

Oletetaan, että havaksen läpäisseessä aineksessa kaikki fosfori on liuenneena, jolloin saadaan:

Läpäissyt kok.P	72.5 $\mu\text{g/l}$
Väh. raakavesi	11.5 $\mu\text{g/l}$
	61.0 $\mu\text{g/l}$

joten liuennut osuus

$$\frac{100 \times 61}{170} = 36 \%$$

(Jos havaksen läpäissyt kiintoaineosuus otetaan huomioon on liuennut osuus 29 %).

#### 4.52 Pieni selkeytin

Pienemmästä, halkaisijaltaan 1 m, selkeyttimestä liete kerättiin jatkuvan pohjapoiston avulla (kuva 9). Kokeessa vaihdeltiin lietepoistovirtaaman osuutta sekä käytettiin erimuotoisia ja -kokoisia tulovirtausputkia. Pienellä mallilla oli tarkoituksenmukaista suorittaa suuri määrä kokeita, koska niiden toistettavuus on parempi kuin suurella rakenteella. Kaikkiaan kokeita tehtiin tällä mallilla 32 kpl. Mittaustulokset on esitetty taulukoituna liitteessä 3.

Tuloksista voidaan todeta, että täsmällistä rakenteisiin liittyvää tutkimusta ei ole järkevää suorittaa tällaisissa olosuhteissa, missä kiintoaineksen pitoisuudet ja ominaisuudet vaihtelevat, vaan tällainen selvitys on tehtävä mieluiten virtauslaboratoriossa täysin kontrolloiduissa olosuhteissa.

Selkeyttimen optimaaliseksi toimintavirtaamaksi saatiin noin 3.5 - 4.5 l/s eli selkeytinneliometriä kohden virtaama olisi mitoitusarvon 4.3 l/s mukaan 5.3 l/s. m<sup>2</sup>, joka tavallisimmin käytettynä yksikkönä ilmaistuna on 19 m/h.

Puhdistusteho pieneni selvästi selkeyttimen virtaaman kasvaessa tästä yli. Mittaustuloksissa havaittiin selvä alennus reduktiossa 28.7. Syynä heikkoon tulokseen oli se, että laitoksella samaan aikaan suoritettujen muovikangasmateriaalista valmistetun selkeyttimen kokeiluista johtuen vesi patoutui hallin poistokouruun ja kiintoainetta laskeutui huomattavasti jo tällöin.

#### 4.53 Suuri selkeytin

Suuremmalla selkeyttimellä voitiin varsinaiset kokeet aloittaa 4.9.81. Joidenkin kokeiden jälkeen havaittiin selkeyttimen aiheuttavan padotusta lohiahallin poistokouruun. Nämä kokeet tehtiin siten, että näytettä kerättiin

sekä tulevasta että lähtevästä vedestä sama määrä astiaan joka sen jälkeen suodatettiin 50  $\mu\text{m}$ :n havaksen avulla. Selkeyttimen korkeusasemaa muutettiin padotuksen estämiseksi ja näytteet otettiin jatkossa letkuilla ( $\varnothing$  90 mm) suoraan havaspusseihin. Välissä madalletulla mallilla suoritettu koe antoi tulokseksi reduktion 0 %.

Puhdistustulos tällä suuremmalla laitteella oli merkittävästi heikompi, kuin pienellä kts liite 5. Syytä tähän on pohdittu ja tärkein syy on varmasti virheellinen rakenne tuloputkessa. Tuloputki (neliöpoikkileikkauksinen 0.4 m x 0.4 m) oli liian lyhyt (laskeutuksen perustuva mitoitus on noin 7 x putken halkaisija d). Tämän lisäksi putkeen oli asennettu virtauksen hillitsin, jolla oli tarkoitus hiljentää pieniläpimittaisen muoviputken aiheuttama liian suuri tulonopeus selkeytinkammioon. On ilmeistä, että tämä aiheutti haitallisia pyörteitä tuloputkeen ja kiintoaine sekoittui juuri ennen kammioon tuloaan heikentäen laskeutusta.

Kolmantena heikentävänä tekijänä oli tuloputken sijainti allaskammion pohjalla. Oikean virtauskentän syntymiseksi tulee tuloputken olla sijoitettu altaan keskikorkeudelle tai mieluiten sen tulee olla allaskammion korkuinen, jolloin se mahdollisimman vähän häiritsee allaskammion pyörrevirtausta ja tarpeellisia säännöllisiä sekundäärivirtauksia.

Tulosten perusteella voitaisiin saavuttaa 60 % reduktio virtaamalla 17.5 l/s. Pintakuormana ilmaistuna tämä olisi vain noin 13  $\text{m}^3/\text{m}^2$  h. On hyvin todennäköistä, että tulos paranee kun edelläkerrotut virheet korjataan.

#### 4.6. Johtopäätökset

##### 4.61 Soveltuvuus

Pyörreselkeytintä voidaan tehokkaasti käyttää hyväksi niinsanottujen itsepuhdistuvien altaiden yhteydessä. Niistä jäte poistuu virtauksen mukana nopeasti jolloin se saadaan tuoreena helposti laskeutetuksi. Tällöin ravinteetkin ovat

vielä pääosin sitoutuneina kiintoaineeseen. Tämän lisäksi on vielä huolehdittava siitä, ettei laskeutumista tapahdu poistokouruissa tai -kanavissa. Virtausnopeus poistovesilinjoilla tulee olla mahdollisuuksien mukaan vähintään noin 0.2 m/s.

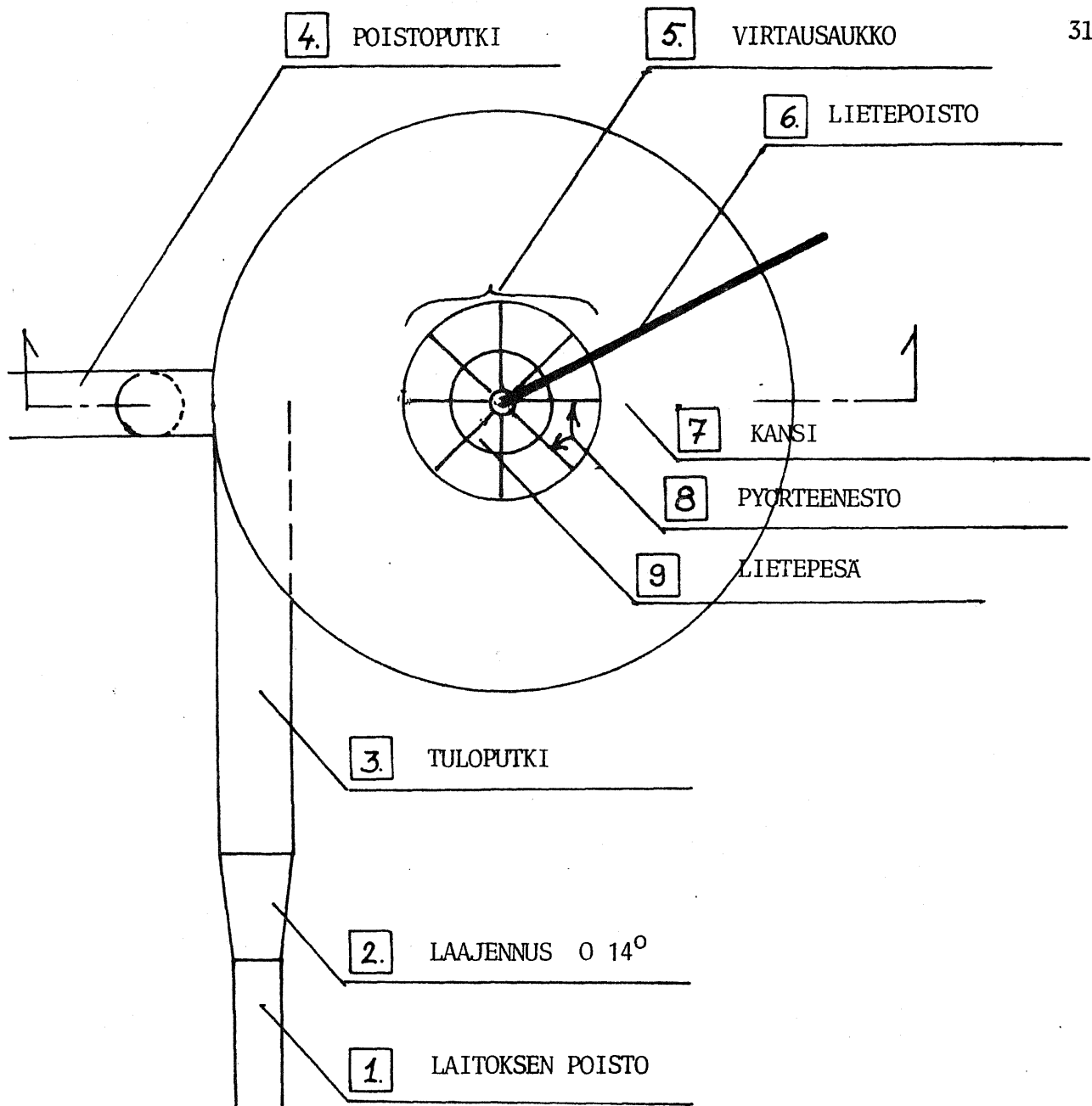
Perinteisiin maa-allaslaitoksiin pyörreselkeyttintä ei kannata yleensä sijoittaa, sillä jäte laskeutuu jo kasvatusaltaaseen, jossa ravinteet liukenevat nopeasti poistuen virtauksen viemänä altaasta. Eräissä maa-altaissa virtaus kuitenkin saattaa olla niin voimakasta, että kiinteä jäte poistuu altaasta sen vaikutuksesta. Tällöin pyörreselkeyttimen käyttöä voidaan harkita. Ensin tulee kuitenkin selvittää mikä osa kiintoaineesta altaasta poistuu ja mikä on poistuvan kiintotoaineen fosforipitoisuus. Näiden tietojen perusteella voidaan päätellä onko selkeyttimen käyttö tuloksellista vai ei.

#### 4.62 Rakenne ja mitoitus

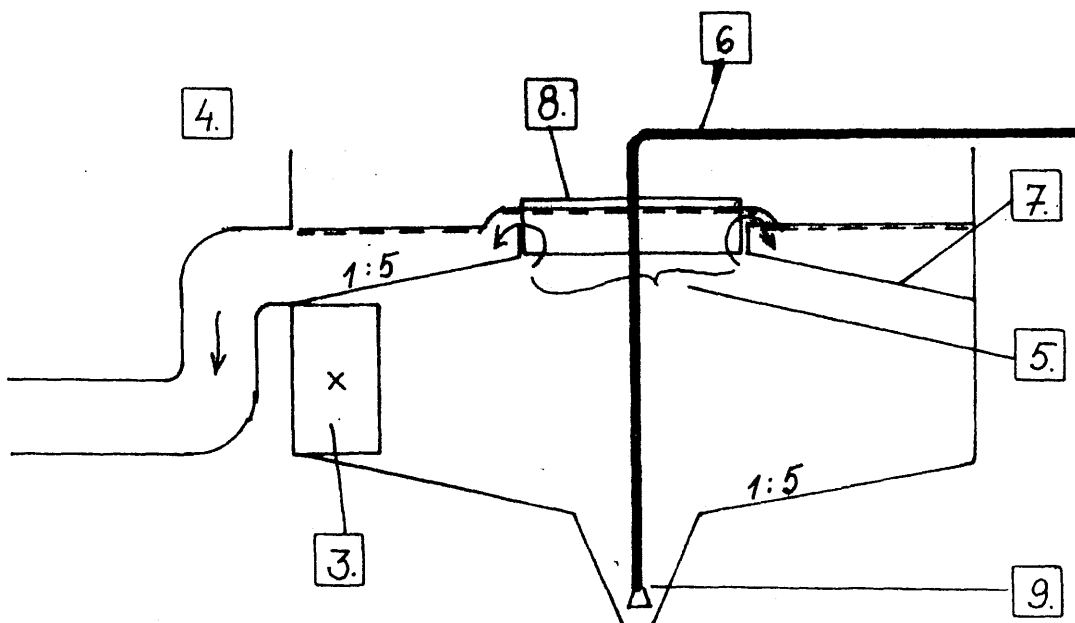
Rakentamisen ja huollon ja puhdistuksen kannalta on edullista, jos selkeyttimen rakenne on mahdollisimman yksinkertainen. Tämän vuoksi selkeyttimen tulee suunnitella ylöspäin purkavaksi, ettei pohjan alapuolelle tarvitse asentaa mitään putkistoja, vaan myös liete pumpataan yläkautta lietepesästä pois. Lietepesä muotoillaan pumpputyypille sopivaksi. Uppopumppua varten tulee olla lieriömäinen lietepesä muutoin kartiomainen.

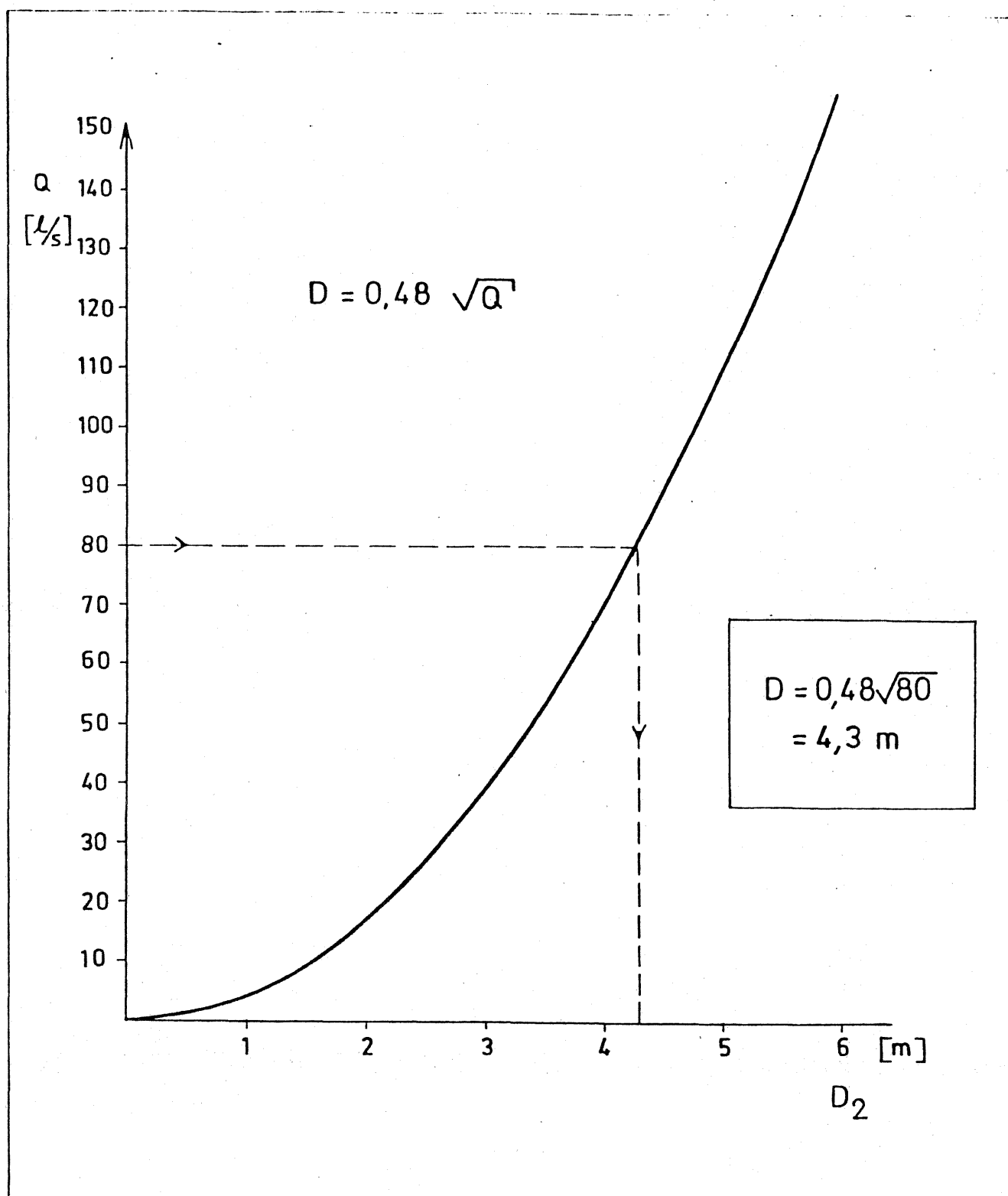
Koska virtausnopeus pidetään laitoksen poistolinjoilla sellaisena, ettei kiintoaine laskeudu, täytyy virtausnopeutta selkeyttimen tuloputkessa hiljentää laskeutumisen aikaansaamiseksi. Tämä tapahtuu laajentamalla virtauspoikkipintaa sopivasti. Laajennus tehdään mieluummin vähitellen pitäen laajentumiskulmana noin  $14^\circ$ .

Putken pituudeksi voidaan määritellä jätteen laskeutumisnopeuden perusteella noin  $7 \times \sqrt{A}$ , jossa A on tuloputken pinta-ala. Tuloputken muoto voi suorakaideputkenä olla sellainen, että korkeus = 2 x leveys. Näin häiritään vähemmän selkeytykseltään virtausta kuin täysin neliömäisellä pohjalla asetetulla putkella. (kuva 13).

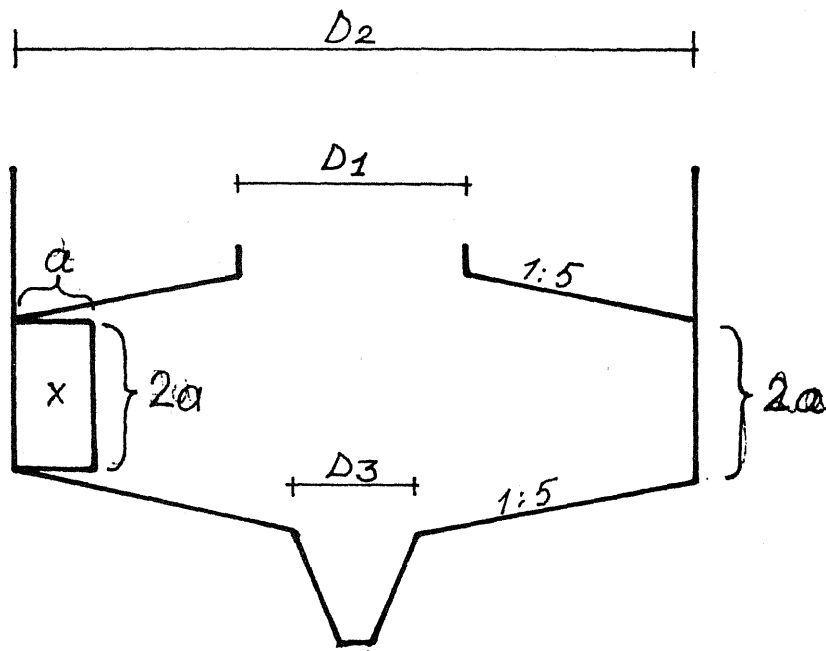


Kuva 13. Suositus selkeyttimen rakenteeksi.





Kuva 14. Selkeyttimen halkaisija virtaamasta riippuen.



Mitoitus:

Halkaisijat

$D_2$  kuvasta 12

$D_1 \sim 1/3 \times D_2$

$D_3 \sim 1/5 \times D_2$

Tuloputki

Pinta-ala ( $A = a \times 2a$ ) siten, että sisäänvirtausnopeus  $v \approx 0.2 - 0.3 \text{ m/s}$   
 $\Rightarrow a = 1.3 - 1.6 \sqrt{Q} \quad [Q = \text{m}^3/\text{s}]$

Kuva 15. Selkeyttimen osien mitoitus.

Selkeytin voidaan mitoittaa pintakuorman arvolle 20 m/h, eli jokaista altaan neliometriä kohti voidaan selkeyttimeen johtaa 5.5 litran sekuntivirtaama (kuva 14). Tuloputki mitoitetaan siten, että keskimääräinen virtausnopeus on 0.2 m/s. Kun selkeyttimen halkaisija on yli 5 m, voi sisään tulonopeutta hieman lisätä noin nopeuteen 0.3 m/s. Tällöin on suositeltavaa että tuloputken pituutta jatketaan 1.5 kertaiseksi, jotta kiintoaine ehtii paremmin laskeutua. Muutoin mitoitus voidaan suorittaa kuvan 15 avulla.

#### 4.63 Muut huomioonotettavat tekijät

Pyörreselkeyttimellä voidaan hyvin kerätä tietyt edellytykset täyttävän kalalaitoksen kiinteät jätteet, mutta tämä ei vielä riitä, vaan liete on saatava kokonaan pois vedestä, jotteivät ravinteet aikaa myöten liuetessaan pääse vesistöön. Turvelavaa voidaan pitää lupaavimpana erotusmenetelmänä yksinkertaisuutensa ja halpuutensa vuoksi. Tämän lisäksi syntyvää tuotetta voidaan käyttää hyväksi maanparannusaineena. Selkeytintutkimuksen yhteydessä suoritettiin alustava koe kooltaan 1 m<sup>2</sup> turvelavan avulla. Rakennekerrokset olivat 10 cm salaojahiekkaa pohjalle ja 15 cm turvetta pinnalle. Virtaamana se läpäisi ilman painetta 0.1 l/s. Kiintoaineesta pidättyi mittausten mukaan (liite 3)

$$100 \times \frac{490 - 7.3}{490} = 98.5 \%$$

Fosforista pidättyi

$$100 \times \frac{(5\,600 - 760)}{5\,600} = 86 \%$$



#### 4.64 Vaihtoehtoiset ratkaisut

Tavanomaisella laskeutuksella voidaan saavuttaa vastaava kiintoaineen reduktio kuin selkeyttimellä. Laukaan keskuskalanviljelylaitoksella tehtyjen kokeiden perusteella voidaan saavuttaa itsepuhdistuvien altaiden yhteydessä noin 70 % reduktio pintakuormalla 4 m/h ja noin 60 % reduktio pintakuormalla 10 m/h. Jotta laskeutusallasta voisi toiminnallisesti verrata pyörreselkeyttimeen, tulee sen olla siten muotoiltu, että lietteen välitön poistaminen altaasta on mahdollista. Tällaisina tyyppeinä voidaan pitää sekä Dortmund-kaivon mallista että suorakaiteen muotoista V-pohjaista allasta. Pyörreselkeyttimeen verrattuna näiden ratkaisujen pinta-alatarve on käytännössä noin kaksinkertainen.

Eräänlainen laskeutusaltaan ja pyörreselkeyttimen välimuoto on selkeytin, jossa vesi virtaa lyhyen kaarteiden matkan. Kaarteissa syntyvät poikittaisvirtaukset keräävät lietteen sisäkaarteiden puolelle, josta liete poistetaan jatkuvalla virtauksella.

Periaatteellisesti tavallaan erillinen ratkaisumalli on erillisviemäröinnillä varustetut itsepuhdistuvat altaat, joiden lietepoistovesi ohjataan suoraan turvesuodattimiin ilman väliselkeytystä.

## 5. Kustannukset

Kustannuksia on arvioitu käytännön esimerkin avulla:

Laukaan keskuskalaviljelylaitoksen lohiahallin vesien puhdistamiseksi voitaisiin käyttää pyörreselkeytintä halkaisijaltaan 4.3 m. Mitoitusvirtaamana olisi tällöin 80 l/s.

Tarvittavat rakenneosat ja niiden arvioidut kustannukset olisivat seuraavat:

Betoninen kammio, tuloputki ja asentamisen vaatimat maatyöt noin mk 50 000,-.

Teräksinen pintaosa ja ylivirtauslaitteet	mk 15 000,-
---	-------------

Pumppukaivo siltoineen ja kaiteineen	mk 20 000,-
--------------------------------------	-------------

Lietelava 40 m <sup>2</sup> ( tyhjennys 2 kertaa/vuosi)	mk 25 000,-
---	-------------

yht. mk 110 000,-
-------------------

10 vuoden käyttöiällä 11 % korolla vuotuis-  
kustannukset (tasainen annuiteetti)

mk 20 400,-
-------------

Käyttökustannukset/vuosi arviolta

mk 8 000,-
------------

yht. mk 28 400,-
------------------

=====

Kalanpoikasta kohden:

$$\frac{28\,400 \text{ mk}}{130\,000 \text{ smolttia}} = \text{mk } 0,22/\text{smoltti}$$

## 6. Suositukset ja jatkotutkimustarve

Rakenteellisista syistä tulee selkeytin suunnitella ylöspäin purkavaksi. Lietteen pumppaus voidaan hoitaa automaattisesti sopivin väliajoin, jolloin puhdistimen käyttö on lähinnä toiminnan valvontaa sekä laitteen puhdistusta. Koska vaikuttaa siltä, että yleensäkin haluttaessa hoitaa kalanviljelylaitosta hyvin on edellytyksenä itsepuhdistuvien altaiden käyttö, tulee tutkimusta suunnata näiden altaiden ominaisuuksiin ja suunnittelun perusteisiin.

Muita tutkimuskohteita ovat lietteen jatkokäsittelyn selvittäminen sekä jo käytössä olevien puhdistusmenetelmien vertailu tehon ja kustannusten suhteen.

Pesuvesien ja selkeyttimen tai itsepuhdistuvien altaiden erillisviemäröinnin kautta poistettavien lietevesien käsittelyyn sopivia ratkaisuja tulisi myös selvittää. Käyttökelpoiselta ratkaisulta näyttävän turvesuodattimen mitoitusperusteet tulee selvittää.

Varsinainen vesiensuojelullinen ongelma ovat suuret kalalaitokset, lähinnä sisävesialueella, joten erityisesti tällä taholla tulee tutkimusta voimistaa.

## Y H T E E N V E T O

Pyörreselkeytin on osoittautunut käyttökelpoiseksi ratkaisuksi tietyt edellytykset täyttävän kalalaitoksen poistovesien käsittelyyn. Näitä edellytyksiä ovat esimerkiksi itsepuhdistuvien altaiden käyttö sekä oikein suunnitellut poistovesilinjat. Laukaan keskuskalanviljelylaitoksella Riista- ja Kalatalouden tutkimuslaitoksen ja vesihallituksen yhteistyössä tekemässä tutkimuksessa voitiin poistovedessä olevasta kiintoaineesta saada selkeyttimen avulla kerätyksi 60 - 70 %.

Erityisen selvästi voitiin kerättyjen lietenäytteiden fosforipitoisuuksiin ja fosforin liukenemista kuvaavan käyrän avulla todeta, että nimenomaan tuore kala-allasliete on laskeutuvaa ja helposti erotettavissa vedestä esim. pyörreselkeyttimen avulla. Samassa yhteydessä verrattiin suoraa laskeutusallasta selkeyttimeen. Laskeutustulos oli varsin hyvä, sillä parhaimmillaan kiintoaineesta laskeutui noin 70 %.

## S U M M A R Y

The whirl concentrator has proved its usability for the wastewater treatment in the hatcheries, which fulfill certain conditions. These conditions are e.g. using of selfcleaning tanks and correctly planned effluent. In the study made by National Board of Waters and Game and Fisheries Research Institute in the Laukaa Fish Culture Research station they could achieve 60 - 70 % suspended solids removal from effluent by using the swirl concentrator.

Very clearly could be noticed by using a curve, which described phosphorus concentration and phosphorus solubility of the sludge samples, that particularly fresh sludge from fish tanks is settleable and easily separated from the water by using e.g. a swirl concentrator.

In the same connection a rectangular settling basin was compared with a swirl concentrator. The settling result was quite good, because at its best it settled about 70 % of suspended solids.

## K I R J A L L I S U U T T A

- Alonen, K. Turve kalankasvatuslaitosten poistovesien käsittelyssä. Suomen kalankasvattaja 4/1981.
- Brisbin, K.J., 1970: Report on pollutional aspects of trout hatcheries in British Columbia. Prepared for Fish and Wildlife Branch, Dep. Recreation Conserv. Underwood, McLellan and Associates, 33 pp.
- Karvinen, R., 1981: Virtauksen irtoaminen. Sekundäärivirtaus, turbulentti-virtaus ja sen mittaus.- INSKO 140-81 N.
- Keski-Suomen Vesipiiri 1981: Kalankasvatuslaitokset Keski-Suomessa 1975-1980.- moniste 14 s.
- Lindqvist, O.V., Puustinen, M. & Kärenlampi L., 1981: Kalanviljelylaitosten ympäristökysymysten hoidosta.- Suomen Kalankasvattaja 1/1981:11-12.
- Myllylä E-K. Kalalaitosten aiheuttamista jäteongelmista. Pro gradu-työ. Limnologian laitos Helsingin yliopisto 1976.
- Myllymaa, V., Kalankasvatuksen jätevedet Koillismaahan vesistöjen muuttajina. Vesihallitus, tiedonanto 209, Helsinki 1981.
- Mäkinen, T. ja Pyörreselkeytintutkimukset Laukaan keskuskalanviljelylaitoksella Naukkarinen, M. kesällä 1981. Suomen kalankasvattaja 4/1981.
- Naukkarinen, M. Kalanviljelystä ja kalanviljelylaitoksen vesityksen suunnittelusta. Vesihallituksen monistesarja 1981:87. Helsinki 1981.
- Press, H. : Hydromechanik im Wasserbau.- Berlin 1966.
- Selänne, A. & Ollikainen, P., 1979: Pohjois-Suomen Keskuskalanviljelylaitoksella 1978 suoritettu lietetutkimus.- moniste.
- Sullivan R.H. et.al, Relationship between Diameter and Height for the Design of a Swirl Concentrator as a Combined Server. Overflow Regulator. U.S. Environmental Protection Agency, EPA - 670/2-74-039 July 1974.

Tikka, M., 1971: Kemiallisen puhdistamon rakentamis- ja käyttökustannukset. Asumajätevesien kemiallinen puhdistus. Vesipäivät 22. - 23.4.1971: 127-143. Vesiyhdistys ry. Helsinki.

Warrer-Hansen, I., A Note on Wastewater Treatment in the Fish Farming Industry. Water Quality Institute, Hørsholm, Denmark 1979. Muistio.

Werner, J., 1971: Teori för kemisk fällning - fällningsförloppet. Kemisk fällning av kommunalt och industriellt avloppsvatten.- Lidingö.- 32 s. (ref. in: Santaholma, A., Reinikainen L. & Kalliola P., 1975: Jäteveden kemiallisen puhdistuksen teoriaa, Jäteveden kemiallisia puhdistuskokeita ferrikloridilla ja kalkilla. -Vesihallitus, tiedotus 80.

Wheaton F.W., 1977: Aquacultural Engineering.- 708 pp. John Wiley & Sons. New York.





Laukaan kalanviljelylaitos

Kala-allasliete	A	34,0 mg P/g	kuiv. lietettä
	B	13,3 mg P/g	kuiv. lietettä

Analysoitu 15. - 16.9.1981

ANALYYSITULOSLOMAKE		Tehtävä <u>Palv. vet/ VH:n osast.</u>		Ottoaika _____ 19____		Lähetäjä _____							
		Projekti <u>545-8/536-4</u>		Saapumispäivä <u>19. 2</u> 19 <u>82</u>		Hyväksynyt _____							
Lab. n:o	Näytteen tunnus	Tutkitut komponentit											
		Na mg/l	K mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	SiO <sub>2</sub> mg/l	org.C mg/l	kok.S mg/l	P mg/g				
	Kala-allaslietteet												
811	1. Tuleva								16,1				
812	1. Lähtevä								12,1				
813	Pyörreselkeytin												
	Tuleva								22,5				
814	Lähtevä								10,6				
	Kestävöinti:							CuSO <sub>4</sub>	NaOH				
	Analysoinut:												
	Milloin:												

VESIPIIRI	PAIVAMAARA	KELLONAICA	KOORDINAATIT	VESISTOALUE					
09 KSv	18.09.81								
KUNTA	TUTKIMUSLAITOS		ASTEIKKONUMERO	TUTKIMUS					
410 Laukaa	09 KSv								
HAVAINTOPAIKAN NIMI									
Laukaan keskuskalanviljelylaitos									
KOKONAISYVYYS	NAKOSYVYYS	ILMAN LAMPOTILA	PILVISYYS	TOULEN VOIMAKKUUS	TOULEN SUUNTA				
m	dm	°C	/8	m/s	0°				
JÄÄN PAKSUUS	LUMEN PAKSUUS	VIRTAAMA	VALUMA	VEDENKORKEUS					
dm	dm	m³/s	l/s km²	cm					
LABORATORIONUMERO	463	464	465	466	467	468	469		
NÄYTTEENOTTOSYVYYS/ ALKUSYVYYS	m								
LOPPUSYVYYS	m								
LÄMPÖTILA	°C	040							
O₂	mg/l	017							
O₂	kyll. %	018							
SAMEUS. HACH	FTU	076							
KIINTOAINE	mg/l	028	490	7,3	1,7	1,6	1,6	1,4	0,9
γ <sub>25</sub>	mS/m	084							
ALKALINITEETTI	mmol/l	002							
pH		051							
VÄRILUKU	Pt mg/l	086							
COD <sub>Mn</sub>	mg/l O₂	026	180	14	8,2	7,8	8,1	8,0	7,3
BOD <sub>7</sub>	mg/l	008							
KOK.N	µg/l	036							
NO <sub>2</sub> -N	µg/l	047							
NO <sub>3</sub> -N	µg/l	048							
NH <sub>4</sub> -N	µg/l	004							
KOK.P	µg/l	032	5600	760	84	77	75	70	13
PO <sub>4</sub> -P	µg/l	013							
Cl	mg/l	030							
Fe	µg/l	053							
Mn	µg/l	041							
FEKAALISET STREPTOKOKIT	kpl/100 ml	068							
KOLIMUOT.	°C kpl/100 ml								
463 = turveallas tuleva									
464 = " lähtevä									
465 = 17.9 lähtevä suod. (50 µ)									
466 = " -"									
467 = " tuleva suod.									
468 = " -"									
469 = Pi LKKVL tuleva									
NÄYTTEEN OTTI			NÄYTTEEN ANALYSOIVAT			TARKASTAJA			
MN			HJ, EA, ML, EY			[Signature]			

[illegible]

## LIITE 4

Pienempi pienoismalli (näyte kerätty suoraan selkeyttimen liete- ja pääpoistosta  
200  $\mu$ m:n havaksesta tehtyyn pussiin)

pvm	näytteen keruu- aika	Q l/s			haihdutusjäännös				huom.
		kok.	lietep.	%	mg lietep.	mg pääp.	mg yht.	saalis %	
2.7.	11.-11.30	4.46	0.26	5.8	1311	1017	2328	56.3	tuloputki suora, pohja tasainen
3.7.	11.-11.30	4.5	0.45	10.0	2135	513	2648	80.6	t = 14.0 °C
"	12.-12.30	"	0.22	4.9	1516	681	2197	69.0	tuloputki suorakaide 0.2x0.1 m
"	14.-14.30	"	0.67	15.4	2761	847	3608	76.5	
"	16.30-17.	"	0.33	7.5	1186	742	1928	61.5	
6.7.	11.30-12.	4.23	0.23	5.3	1608	707	2315	69.5	
"	15.-15.30	"	0.32	7.4	1146	658	1804	63.5	
"	15.30-16.	"	0.43	10.0	1588	791	2379	66.8	
"	16.30-17.	"	0.72	16.5	1817	675	2492	72.9	
"	18.-18.30	"	0.83	19.3	2352	1058	3410	69.0	
7.7.	8.30-9.	5.1	0.25	4.8	1320	1441	2760	47.8	
"	9.30-10.	"	0.37	7.3	774	1083	1857	41.7	
"	10.30-11.	"	0.47	9.2	1777	2038	3815	46.6	
"	13.30-14.	"	0.76	14.9	1836	1489	3325	55.2	
"	14.30-15.	"	1.03	20.2	1613	1307	2920	55.2	
"	15.30-16.	4.7	0.5	10.6	2127	1124	3251	65.4	
"	16.30-17.	4.0	0.4	10.0	1522	991	2513	60.6	
8.7.	9.30-10.	3.2	0.31	9.5	879	457	1336	65.8	
"	10.30-11.	"	0.4	12.5	1328	958	2286	58.1	
9.7.	10.-10.30	4.05	0.42	10.4	1063	635	1698	62.6	Tuloputki pyöreä $\phi$ 110 mm
"	11.-11.30	2.83	0.33	11.7	354	465	819	43.1	" " " "
10.7.	-	3.95	0.4	10.1	645	808	1453	44.4	" " 140 "
"	-	"	0.4	"	631	623	1254	50.3	" " 160 "
12.7.	10.-10.30	3.55	0.36	10.1	622	481	1103	56.4	" " 160 "
"	11.-11.30	"	0.50	14.1	492	313	805	61.6	" " 160 "
13.7.	-	3.2	0.35	10.9	1261	786	2047	61.6	" " 160 "
"	-	"	"	"	886	470	1356	65.3	" " 140 "
16.7.	-	5.0	0.45	9.0	946	930	1876	50.4	tuloputki suorakaide 0.2x0.155m
17.7.	-	5.5	0.49	8.9	1263	980	2243	56.3	" " " "
28.7.		3.5	0.33	9.4	171	423	594	28.8	Pohja kallistettu 1:5 keskustaa kohti.
		2.8	0.33	11.8	143	223	366	39.1	
		2.4	0.27	11.3	119	172	291	40.1	Samanaikaisesti suoritettut muoviselkeytinkokeet aiheuttivat häiriötä selkeyttimen tutkimuksiin ja huomattavan selkeytystuloksen heikkenemisen.

Suurempi pienoismalli ( $\emptyset$  2.5 m)(Näyte kerättiin saaveihin, suodatus 50  $\mu$ m havaksella)

Päivämäärä	Q l/s	lietteen kuivapaino g		
		tuleva	lähtevä	reduktio-%
4.9.	20	0.172	0.087	49
	32	0.132	0.106	20
5.9.	40	0.062	0.046	26
8.9.	40	0.973	0.861	12
(padotus hallin kouruun)				
10.9.	37	3.97	3.98	0
(madallettu malli, $H_1 = 50$ cm)				
(näyte kerättiin suoraan havaspusseihin)		kiintoaine mg/l	mg/l	
11.9.	29.5	4.00	1.089	73
17.9.	31.0	5.65	3.74	34
22.9.	29.0	2.11	1.368	35
	37.0	3.48	3.32	5
23.9.	25.0	5.08	3.02	41
	17.5	5.44	2.10	61
	11.0	4.29	1.183	72



